



TUGAS AKHIR - TE141599

OPTIMISASI KOORDINASI *DIRECTIONAL OVER CURRENT RELAY* (DOCR) PADA SISTEM DISTRIBUSI MESH MENGGUNAKAN *MODIFIED ADAPTIVE PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* (MAPSO) DENGAN PEMBANGKIT TERSEBAR

Aditya Descara Putra
NRP 2212100161

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.
Dr. Ir. Margo Pujiانتara, MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TE141599

**OPTIMAL COORDINATION DIRECTIONAL OVER
CURRENT RELAY (DOCR) IN MESHED DISTRIBUTION
SYSTEM BASED ON MODIFIED ADAPTIVE PARTICLE
SWARM OPTIMIZATION (MAPSO) WITH DISTRIBUTED
GENERATOR**

Aditya Descara Putra
NRP 2212100161

Advisor
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.
Dr. Ir. Margo Pujiانتara, MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

**OPTIMISASI KOORDINASI *DIRECTIONAL OVER
CURRENT RELAY* (DOCR) PADA SISTEM DISTRIBUSI
MESH MENGGUNAKAN *MODIFIED PARTICLE SWARM
OPTIMIZATION* (MAPSO) DENGAN PEMBANGKIT
TERSEBAR**

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Dr. Eng. Ardyono Privadi, ST., M.Eng.
NIP. 197309271998031004

Dosen Pembimbing II



Dr. Ir. Margo Pujiانتara, MT.
NIP. 196603181990101001



PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Optimisasi Koordinasi *Directional Over Current Relay (DOCR)* pada Sistem Distribusi Mesh Menggunakan *Modified Adaptive Particle Swarm Optimization (MAPSO)* dengan Pembangkit Tersebar**” adalah benar benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Mei 2016

Aditya Descara Putra
NRP. 2212100161

Optimisasi Koordinasi *Directional Over Current Relay* (DOCR) pada Sistem Distribusi Mesh Menggunakan *Modified Adaptive Particle Swarm Optimization* (MAPSO) dengan Pembangkit Tersebar

Nama : Aditya Descara Putra
Pembimbing I : Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng
Pembimbing II : Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.

ABSTRAK

Pemilihan topologi jaringan distribusi mesh merupakan salah satu hal yang sangat penting dalam penyaluran sistem tenaga listrik. Apabila terjadi gangguan pada suatu saluran maka saluran yang lain dapat menggantikan untuk penyalurkan daya listrik. Akibat adanya gangguan dari suatu saluran diperlukan koordinasi proteksi yang baik pada sistem mesh. Di samping itu, dengan adanya injeksi dari *distributed generator* pada sistem distribusi mesh, koordinasi proteksi yang dilakukan harus mempertimbangkan nilai arus gangguan dan arah arus gangguan. Arah arus gangguan harus diperhitungkan, baik dalam arah *forward* maupun *reverse*. Dari permasalahan tersebut diperlukan sebuah metode penyelesaian untuk mengurangi kompleksitas koordinasi proteksi pada sistem mesh. Dalam hal ini algoritma *Modified Adaptive Particle Swarm Optimization* (MAPSO) digunakan sebagai metode optimasi untuk mengurangi kompleksitas dari perhitungan koordinasi proteksi pada sistem distribusi mesh. Algoritma MAPSO digunakan dalam optimasi koordinasi antar *Directional Over Current Relay* (DOCR). Parameter yang dioptimasi adalah TDS (*Time Dial Setting*) dan waktu kerja rele. Nilai rata-rata waktu kerja rele primer dengan Algoritma MAPSO adalah 0,262 detik.

Kata kunci : *Distributed generator, Modified Adaptive Particle Swarm Optimization*, Sistem jaringan distribusi mesh.

~ Halaman ini sengaja dikosongkan ~

***Optimal Coordination Directional Over Current Relay
(DOCR) in Meshed Distribution System based on Modified
Adaptive Particle Swarm Optimization (MAPSO) with
Distributed Generator (DG)***

Name : Aditya Descara Putra
Advisor I : Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng
Advisor II : Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.

ABSTRACT

The selection of meshed distribution as topology is one of the important thing on distribution of electrical power system. If there is any fault on one line then another has capability to change its role as distributor of electrical power. As a result , the fault on line required coordination protection properly on mesh system. Beside that, with the injection of Distributed Generator on mesh distribution, coordination protection must be considered the value of short circuit current and the direction of short circuit current. The direction of short circuit current must be calculated both in forward and reverse respectively. Therefore it needs a method to reduce complexity of meshed coordination protection. In this case Modified Adaptive Particle Swarm Optimization (MAPSO) algorithm used to reduce the complexity of calculating meshed coordination protection. This algorithm is used to optimize coordination Directional Over Current Relay (DOCR). The parameters that will be optimized are TDS (Time Dial Setting) and time operation . Average of time operation of primary relay is 0.262 second.

Keyword : Distributed Generator, Modified Adaptive Particle Swarm Optimization , Meshed Distribution.

~ Halaman ini sengaja dikosongkan ~

DAFTAR ISI

	HALAMAN
HALAMAN PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Metodologi	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
1.7 Relevansi	5

BAB II DASAR TEORI

2.1 Sistem Distribusi Mesh	7
2.2 Proteksi dalam Sistem Tenaga Listrik	8
2.3 Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik	8
2.3.1 Gangguan Hubung Singkat	8
2.3.2 Gangguan Beban Lebih	9
2.4 Rele Arus Lebih (<i>Over Current Relay</i>).....	9
2.4.1 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu	10
2.4.2 Rele Arus Lebih Waktu Invers	10
2.4.3 Rele Arus Lebih Waktu Instan	11
2.4.4 Penyetelan Arus Lebih.....	12
2.4.5 Koordinasi Rele Berdasarkan Arus dan Waktu.....	13
2.5 Rele Directional Over Current.....	13
2.6 Pembangkit Tersebar (<i>Distributed Generator</i>).....	14
2.7 Algoritma MAPSO (<i>Modified Adaptive Particle Swarm Optimization</i>).....	15

2.7.1 Proses Inisiasi	15
2.7.2 Proses Iterasi dan <i>Updating</i> Parameter	16

BAB III PERANCANGAN SISTEM

3.1 Sistem Kelistrikan Distribusi Mesh.....	19
3.2 Pasangan Rele Utama dan Rele <i>Backup</i>	22
3.3 Optimasi Koordinasi Proteksi Menggunakan MAPSO.....	22

BAB IV HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

4.1 Analisa Hubung Singkat	27
4.2 Arus Hubung Singkat Maksimum pada Rele.....	28
4.2.1 Arus Hubung Singkat Maksimum dengan DG	28
4.2.2 Arus Hubung Singkat Maksimum tanpa DG.....	29
4.3 Koordinasi Proteksi pada Sistem Distribusi Mesh dengan DG Menggunakan Perhitungan Manual.....	30
4.4 Koordinasi Proteksi pada Sistem Distribusi Mesh Menggunakan Algoritma MAPSO.....	85
4.5 Hasil dan Analisa Simulasi Koordinasi Proteksi pada Sistem Mesh dengan Menggunakan Algoritma MAPSO.....	86

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	107
5.2 Saran	107

DAFTAR PUSTAKA.....	109
LAMPIRAN.....	I
RIWAYAT HIDUP	IX

DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
Gambar 2.1 Sistem Distribusi Mesh	7
Gambar 2.2 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu.....	10
Gambar 2.3 Karakteristik Standard Inverse, Very Inverse dan Extremely Inverse	11
Gambar 2.4 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Instan	11
Gambar 2.5 Karakteristik Directional Over Current Relay.....	13
Gambar 2.6 Ilustrasi Perubahan Posisi Setiap Particle	17
Gambar 3.1 Single Line Diagram dengan DG.....	21
Gambar 3.2 Single Line Diagram tanpa DG	21
Gambar 3.3 Flowchart algoritma MAPSO	23
Gambar 4.1 Loop I pada Sistem Distribusi Mesh dengan DG	31
Gambar 4.2 Loop II pada Sistem Distribusi Mesh dengan DG	53
Gambar 4.3 Loop III pada Sistem Distribusi Mesh dengan DG	72
Gambar 4.4 Kurva Konvergensi Algoritma MAPSO dengan DG	89
Gambar 4.5 Kurva Konvergensi Algoritma MAPSO tanpa DG	89
Gambar 4.6 Plot Kurva TCC Rele 1 dan Rele 2.....	90
Gambar 4.7 Plot Kurva TCC Rele 2 dan Rele 3.....	91
Gambar 4.8 Plot Kurva TCC Rele 3 dan Rele 4.....	92
Gambar 4.9 Plot Kurva TCC Rele 4 dan Rele 5.....	93
Gambar 4.10 Plot Kurva TCC Rele 5 dan Rele 6.....	94
Gambar 4.11 Plot Kurva TCC Rele 5 dan Rele 7.....	95
Gambar 4.12 Plot Kurva TCC Rele 6 dan Rele 1	96
Gambar 4.13 Plot Kurva TCC Rele7 dan Rele 2.....	97
Gambar 4.14 Plot Kurva TCC Rele 8 dan Rele 13	98
Gambar 4.15 Plot Kurva TCC Rele 9 dan Rele 8.....	99
Gambar 4.16 Plot Kurva TCC Rele 9 dan Rele 14.....	100
Gambar 4.17 Plot Kurva TCC Rele 10 dan Rele 9.....	101
Gambar 4.18 Plot Kurva TCC Rele 11 dan Rele 10	102
Gambar 4.19 Plot Kurva TCC rele 12 dan Rele 11	103
Gambar 4.20 Plot Kurva TCC Rele 13 dan Rele 12	104
Gambar 4. 21 Plot Kurva TCC Rele 14 dan Rele 12	105

~ Halaman ini sengaja dikosongkan ~

DAFTAR TABEL

	HALAMAN
Tabel 2.1 Koefisien Invers Time Dial.....	12
Tabel 2.2 Kapasitas Distributed Generator	14
Tabel 3.1 Data Generator.....	19
Tabel 3.2 Data Transformator	19
Tabel 3.3 Data Distributed Generator.....	19
Tabel 3.4 Data Beban pada Setiap Bus	20
Tabel 3.5 Data Saluran.....	20
Tabel 3.6 Pasangan rele utama dan rele backup	22
Tabel 4.1 Arus Hubung Singkat Setiap Bus dengan DG	27
Tabel 4.2 Arus Hubung Singkat Setiap Bus tanpa DG	27
Tabel 4.3 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 2	28
Tabel 4.4 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 3	28
Tabel 4.5 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 4	28
Tabel 4.6 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 5	29
Tabel 4.7 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 6	29
Tabel 4.8 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 7	29
Tabel 4.9 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 2	29
Tabel 4.10 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 3 ..	29
Tabel 4.11 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 4 ..	30
Tabel 4.12 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 5 ..	30
Tabel 4.13 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 6 ..	30
Tabel 4.14 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 7 ..	30
Tabel 4.15 Nilai Hasil Perhitungan Manual dengan DG	84
Tabel 4.16 Nilai Hasil Perhitungan Manual tanpa DG	85
Tabel 4.17 Hasil perhitungan manual dan algoritma MAPSO.....	86
Tabel 4.18 Waktu Operasi Rele menggunakan MAPSO	88

~ Halaman ini sengaja dikosongkan ~

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Penyediaan listrik di suatu negara akan meningkat seiring dengan kebutuhan listrik yang meningkat pula. Hal ini disebabkan oleh bertambahnya jumlah penduduk setiap harinya yang menggunakan listrik. Kontinuitas daya listrik yang di kirim untuk para penduduk juga harus tetap di jaga, baik dari aspek kualitas daya dan jumlah daya yang di terima. Dalam hal ini , salah satu hal penting yang harus diperhatikan untuk menjaga kontinuitas daya listrik yaitu koordinasi proteksi yang baik pada sistem penyaluran tenaga listrik. Proteksi pada sistem penyaluran tenaga listrik dilakukan untuk menjaga stabilitas penyaluran daya listrik. Sistem koordinasi proteksi sistem penyaluran tenaga listrik yang handal sangat diperlukan untuk menjaga peralatan dari kerusakan dimana pada hal ini selektivitas rele sangat diperlukan dalam menangani gangguan yang terjadi pada sistem penyaluran tenaga listrik.

Salah satu kendala yang terjadi pada saat melakukan studi koordinasi proteksi adalah penentuan waktu operasi rele primer dan rele *back-up*. Waktu operasi yang diinginkan oleh rele *back-up* untuk melakukan *back-up* terhadap rele primer adalah secepat mungkin dengan mempertimbangkan parameter CTI (*Coordination Time Interval*). Hal ini dilakukan untuk meminimalisir efek dari gangguan pada peralatan listrik dari keadaan *arc flash*. Hal ini menjelaskan bahwa kegagalan dalam koordinasi proteksi salah satunya disebabkan karena hasil waktu operasi dari rele *back-up* terhadap rele primer tidak mencakup nilai CTI (*Coordination Time Interval*) yang tepat [1].

Plant IEEE dengan 8-Bus dengan DG (*Distributed Generator*) merupakan suatu sistem tenaga listrik menggunakan jaringan *mesh*. Dimana jaringan *mesh* memiliki tingkat kesulitan yang jauh lebih tinggi dibandingkan jaringan radial dalam hal koordinasi proteksi. Kesulitan ini juga ditambah dengan adanya DG (*Distributed Generator*) pada sistem *mesh* tersebut. Hal ini disebabkan karena DG (*Distributed Generator*) memberikan arus kontribusi gangguan yang berbeda dalam keadaan *on* dan *off*. Penggunaan rele yang tepat juga sangat berpengaruh terhadap keberhasilan koordinasi proteksi pada jaringan *mesh*. Rele yang

diperlukan untuk koordinasi proteksi pada sistem jaringan mesh adalah rele DOCR (*Directional Over Current Relay*).

Dalam hal mengurangi kesulitan dalam studi koordinasi proteksi pada sistem *mesh*, beberapa cara digunakan untuk mengoptimalkan beberapa parameter koordinasi proteksi. Parameter yang dioptimalkan diantaranya adalah nilai TDS (*Time Dial Setting*), CTI (*Coordination Time Interval*), dan waktu operasi pada setiap rele primer dan rele *back-up*. Beberapa cara yang telah diusulkan untuk proses optimasi parameter tersebut adalah LP (*Linier Programming*) [3], PSO (*Particle Swarm Optimization*), NLPP (*Nonlinear Programing Problem*), GA (*Genetic Algorithm*), dan EA (*Evolutionary Algorithm*).

MAPSO (*Modified Adaptive Particle Swarm Optimization*) adalah modifikasi dari PSO dimana pada algoritma ini memiliki beberapa hal yang meningkatkan proses optimasi sebagai solusi masalah dari tingginya tingkat kesulitan dari koordinasi proteksi pada sebuah sistem mesh. Hal tersebut adalah parameter *velocity parameter* dan pertukaran posisi terbaik dari masing-masing fungsi objektif.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Pengaruh pembangkit tersebar yang diinjeksikan pada sistem penyaluran daya dengan topologi jaringan mesh terhadap koordinasi proteksi.
2. Skema koordinasi rele dalam mengamankan jaringan listrik utama yang diinjeksikan oleh pembangkit tersebar.
3. Penerapan algoritma MAPSO untuk koordinasi rele-rele pada topologi jaringan mesh dengan pembangkit tersebar.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diberikan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Simulasi MAPSO dilakukan dengan menggunakan *software* MATLAB R2014b.
2. Pengambilan data arus nominal dan arus gangguan menggunakan *software* ETAP 12.6.0
3. *Plant* yang digunakan adalah 8-Bus IEEE saluran distribusi dengan melakukan penambahan beban dan 1 pembangkit tersebar.

4. Optimasi koordinasi proteksi dengan MAPSO dilakukan hanya pada gangguan antar fasa.
5. Studi optimasi koordinasi proteksi dilakukan pada gangguan di bus dalam *loop* sistem distribusi mesh.
6. Optimasi hanya dilakukan untuk mencari *setting* invers

1.4 Tujuan

Adapun beberapa tujuan dari penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Membantu mengurangi kompleksitas perhitungan manual koordinasi proteksi sistem mesh dengan algoritma MAPSO.
2. Mendapatkan koordinasi rele yang optimal pada topologi jaringan mesh dengan injeksi pembangkit tersebar di sistem distribusi penyaluran tenaga listrik.

1.5 Metodologi

Metode yang digunakan dalam penyelesaian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Pengumpulan data dan studi literatur
Pengumpulan data dan studi literatur diperlukan untuk mendukung pengujian simulasi program dalam tugas akhir ini. Data-data yang diperlukan untuk pengujian tugas akhir ini adalah data jaringan distribusi Mesh dengan pembangkit tersebar berupa *rating generator*, *transformer*, kabel, beban dan *single line diagram*. Literatur yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini berupa jurnal ilmiah, buku, dan *user manual*.
2. Permodelan dan simulasi
Sistem jaringan distribusi Mesh dimodelkan dalam *software* ETAP 12.6.0 menggunakan program yang sudah disesuaikan pada jaringan distribusi Mesh dengan pembangkit tersebar. Kemudian dilakukan simulasi aliran daya dan hubung singkat yang bertujuan untuk mendapatkan data masukan berupa arus *full load*, arus kontribusi gangguan yang melewati rele, rasio trafo dan pasangan rele utama dan *backup*. Simulasi untuk memprogram MAPSO juga dilakukan pada *software* MATLAB R2014b.
3. Analisa Data
Hasil simulasi terakhir berupa data koordinasi proteksi adaptif rele *digital* dimasukkan pada pemodelan *single line diagram*

dalam ETAP 12.6.0 untuk memastikan kebenaran koordinasi tersebut. Analisis yang akan dilakukan pada tugas akhir ini meliputi sistem adaptif rele, penerapan MAPSO dalam koordinasi rele arus lebih digital dan pengaruh injeksi pembangkit tersebar dalam sistem distribusi Mesh terhadap sistem proteksi jaringan tersebut.

4. Kesimpulan

Langkah akhir dari penyusunan tugas akhir ini adalah pembuatan kesimpulan dari hasil analisa dan simulasi yang telah dilakukan. Selain itu langkah terakhir dari proses penyusunan tugas akhir ini adalah pemberian saran untuk mendukung peniitian tugas akhir tentang penerapan MAPSO pada sistem distribusi Mesh untuk masa yang akan datang agar lebih baik lagi.

1.6 Sistematika Penulisan

Susunan penulisan tugas akhir ini dilakukan secara sistematis dengan sistematika sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan, metodologi, sistematika penulisan , dan relevansi pada pengerjaan tugas akhir ini.

BAB II : DASAR TEORI

Bab ini membahas tentang teori – teori penunjang yang akan digunakan pada penyusunan tugas akhir ini.

BAB III : PERANCANGAN SISTEM

Bab ini membahas tentang perancangan sistem sebelum simulasi dilakukan berupa *flowchart* sistem dan *plant* IEEE 8-Bus dengan pembangkit tersebar.

BAB IV : HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

Bab ini membahas tentang hasil simulasi yang telah dilakukan pada *software* MATLAB R2014b dengan data-data yang telah diambil dari *software* ETAP 12.6.0, Analisis dilakukan terhadap kinerja koordinasi rele arah arus lebih pada sistem distribusi Mesh menggunakan MAPSO.

BAB V : PENUTUP

Bab ini membahas tentang kesimpulan dan saran dari hasil studi literatur, simulasi dan analisis yang telah dilakukan pada tugas akhir ini.

1.7 Relevansi

Tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat dan kontribusi pada ilmu pengetahuan dan teknologi di sistem tenaga, khususnya pada studi koordinasi rele pada sistem distribusi Mesh. Kemudian diharapkan nantinya dapat menjadi referensi dalam melakukan perencanaan dan pemasangan rele koordinasi proteksi pada *plant* distribusi Mesh pada suatu perusahaan.

~ Halaman ini sengaja dikosongkan ~

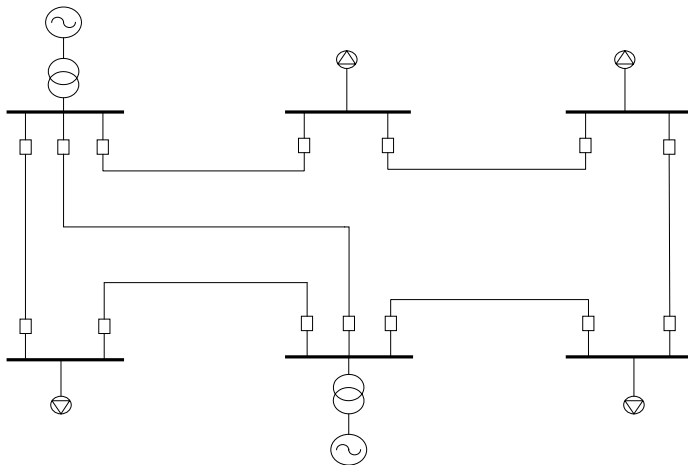
BAB II DASAR TEORI

2.1 Sistem Distribusi Mesh

Sistem distribusi mesh adalah suatu sistem distribusi pada sistem tenaga listrik yang terdiri atas gabungan antara sistem radial dan sistem *loop*. Sistem ini mempunyai beberapa keuntungan dibandingkan dengan konfigurasi sistem jenis lain di antaranya adalah :

1. Kontinuitas penyaluran daya listrik sangat terjaga dapat memenuhi kebutuhan beban.
2. Apabila terjadi gangguan pada salah satu saluran maka saluran lain tidak akan terganggu dalam hal penyaluran daya listriknya.

Sistem distribusi mesh tetap masih memiliki kekurangan pada saat perancangan maupun desain. Biaya konstruksi yang dikeluarkan untuk pembuatan sistem mesh masih tergolong sangat mahal. Dalam hal desain, tingkat kesulitan dalam melakukan studi koordinasi proteksi sangat tinggi. Kesulitan ini dapat dilihat dari peralatan yang saling terhubung satu sama lain serta pembangkit yang terhubung pula satu sama lain.



Gambar 2.1 Sistem Distribusi Mesh

2.2 Proteksi dalam Sistem Tenaga Listrik

Pada penyaluran daya listrik di suatu sistem tenaga listrik diperlukan adanya studi yang membahas tentang pengamanan sistem tenaga listrik. Hal ini dilakukan untuk menjaga kontinuitas penyaluran daya listrik ke bebas tetap terjaga. Di samping itu proteksi dalam sistem tenaga listrik dilakukan untuk menjaga peralatan listrik yang tersambung dengan sistem dari kerusakan akibat terjadinya gangguan pada sistem.

2.3 Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik

Pada sistem tenaga listrik terdapat beberapa jenis gangguan yang terjadi pada sistem penyaluran daya listrik. Gangguan tersebut adalah gangguan hubung singkat (*short circuit*) dan gangguan beban lebih (*overload*).

2.3.1 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan pada jenis terjadi dibagi atas dua jenis gangguan hubung singkat, yaitu gangguan hubung singkat simetri dan gangguan hubung singkat asimetri. Gangguan hubung singkat simetri merupakan gangguan hubung singkat pada tiga fasa sedangkan gangguan hubung singkat lainnya merupakan gangguan hubung singkat asimetri.

Gangguan hubung singkat asimetri akan menyebabkan kenaikan nilai arus pada fasa yang mengalami gangguan dan nilai tegangan pada fasa yang tidak mengalami gangguan. Gangguan yang sering terjadi pada sistem penyaluran daya tenaga listrik adalah gangguan asimetri. Hal ini disebabkan oleh hubung singkat satu fasa ke tanah, hubung singkat dua fasa, dan hubung singkat antara dua fasa ke tanah. Gangguan jenis ini menyebabkan kerusakan pada peralatan–peralatan listrik, berkurangnya stabilitas sistem, dan terhentinya kontinuitas penyaluran daya listrik.

2.3.1.1 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Perhitungan untuk menghitung besarnya arus hubung singkat pada sistem distribusi adalah sebagai berikut [7]:

- **Hubung Singkat tiga fasa**

Pada hubung singkat jenis ini , ketiga fasa pada saat gangguan dilibatkan sehingga mendapatkan rumus sebagai berikut :

$$I_{SC3\phi} = \frac{V_{LN}}{X_1} \dots\dots\dots(2.1)$$

Di mana V_{LN} merupakan tegangan antara fasa ke tanah dan X_1 merupakan reaktansi urutan positif.

- **Hubung Singkat Antar Fasa**

Pada hubung singkat jenis ini, hubung singkat melibatkan antara dua fasa tanpa terhubung ke tanah. Jika $X_1 = X_2$ maka perhitungan arus hubung singkat jenis ini dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$I_{sc2\phi} = \frac{V_{LL}}{X_1 + X_2} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{sc3\phi} \approx 0,86 I_{sc3\phi} \dots \dots \dots (2.2)$$

Di mana V_{LL} merupakan tegangan antar fasa , X_1 merupakan reaktansi urutan positif, dan X_2 merupakan reaktansi urutan negatif.

- **Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah**

Pada hubung singkat jenis ini, hubung singkat melibatkan impedansi urutan nol (Z_0) dan besarnya arus hubung singkat jenis ini tergantung pada sistem pentanahan yang digunakan. Perhitungan arus hubung singkat jenis ini dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$I_{sc0} = \frac{3V_{LN}}{X_1 + X_2 + X_0} \dots \dots \dots (2.3)$$

Di mana V_{LN} merupakan tegangan antara fasa ke tanah, X_1 merupakan reaktansi urutan positif, X_2 merupakan reaktansi urutan negatif, dan X_0 merupakan reaktansi urutan nol.

2.3.2 Gangguan Beban Lebih

Gangguan pada jenis ini terjadi ketika arus listrik yang mengalir pada sistem penyaluran daya lebih besar dari arus nominal yang diperbolehkan lewat pada saluran tersebut ($I > I_n$). Jika gangguan ini terjadi maka arus yang melewati peralatan listrik, seperti *transformator*, generator, motor, dan peralatan-peralatan listrik lainnya akan melebihi arus dari kapasitas peralatan-peralatan tersebut. Akibat dari adanya gangguan jenis ini adalah kerusakan pada peralatan – peralatan listrik yang dialiri oleh nilai arus gangguan tersebut.

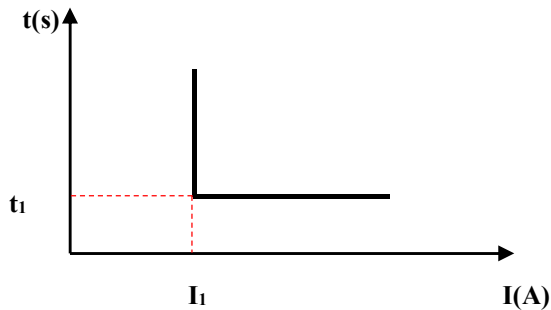
2.4 Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*)

Rele arus lebih adalah rele yang bekerja ketika arus yang mengalir pada suatu saluran sistem tenaga listrik melebihi batasan nilai arus yang ditentukan. Rele akan bekerja ketika $I_f > I_p$ dan rele akan tidak bekerja ketika $I_f < I_p$. Di mana I_p merupakan nilai arus yang dinyatakan terhadap gulungan sekunder CT (*Current Transformer*) dan I_f merupakan nilai arus gangguan yang dinyatakan terhadap gulungan sekunder CT (*Current*

Transformer). Rele arus lebih dapat berupa rele arus lebih waktu tertentu (*definite*), rele arus lebih waktu *invers*, dan rele arus lebih waktu *instant*.

2.4.1 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

Rele arus lebih waktu tertentu merupakan rele yang dapat diatur waktu operasinya berdasarkan *level* arus yang berbeda. Rele jenis ini sering digunakan untuk memutus aliran daya pada gangguan yang paling dekat dengan cepat sesuai dengan *time delay* yang telah di *setting*. Rele ini bekerja ketika arus yang terbaca oleh rele tersebut melebihi *pickup setpoint*-nya sehingga semua semua *level* arus yang melewati batas *pickup setpoint*-nya akan diputus pada waktu yang sama. [5] Gambar 2.2 menunjukkan karakteristik dari rele arus lebih waktu tertentu.



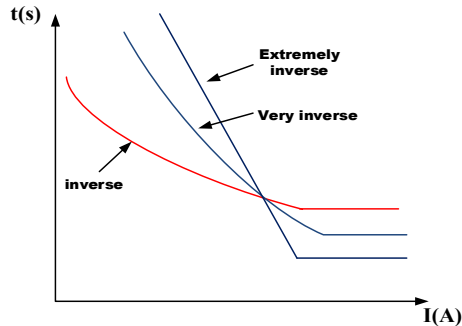
Gambar 2.2 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu

2.4.2 Rele Arus Lebih Waktu Invers

Rele arus lebih waktu invers mempunyai cara kerja yang berbanding terbalik antara waktu operasi rele dengan arus gangguan. Hal ini ditunjukkan ketika terdapat nilai arus gangguan yang sangat besar maka waktu operasi rele tersebut adalah cepat atau kecil begitu pula sebaliknya. Hubungan dari kedua parameter ini direpresentasikan dengan sebuah kurva TCC (*Time Current Curve*). Kurva ini diperlengkapi oleh skala *time dial*. Dimana semakin lama waktu *time dial*, maka semakin lama waktu operasi dari rele tersebut begitu juga sebaliknya.

Pada standar IEC 60255-3 dan BS 142, karakteristik dari sebuah rele arus lebih waktu inversi dijelaskan. Proteksi pada waktu invers dibedakan oleh gradient kurvanya, yaitu *standard inverse*, *very inverse*, dan *extremely inverse*. [6] Karakteristik ini dapat dilihat pada Gambar 2.3.

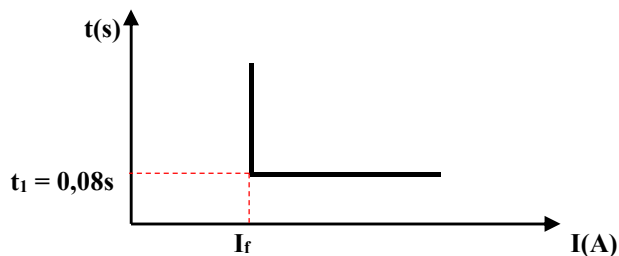
Selain itu, kurva invers ini sering didapatkan dengan *inverse definite minimum time* (IDMT) dimana seiring dengan arus yang bertambah besar, waktu operasi akan turun semakin cepat seolah akan mendekati waktu *definite* minimumnya.



Gambar 2.3 Karakteristik *Standard Inverse*, *Very Inverse* dan *Extremely Inverse*

2.4.3 Rele Arus Lebih Waktu Instan

Rele arus lebih waktu instan bekerja dengan tidak adanya penundaan waktu operasi dari rele. Pada umumnya rele ini bekerja pada waktu kurang dari 0,08 detik ,tetapi rele ini masih dapat bekerja pada waktu 0,1 detik. Karakteristik dari rele arus lebih waktu instan dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Instan

2.4.4 Penyetelan Arus Lebih

2.4.4.1 Setting Rele Arus Lebih Waktu Invers

Batasan yang diperbolehkan pada saat penyetelan arus lebih adalah tidak bekerja ketika beban pada kondisi maksimum. Oleh sebab itu setelan atau *setting* arus pada rele harus lebih besar dari arus beban maksimum. Penyetelan rele arus lebih untuk mengatur besarnya arus *pickup* ditentukan dengan pemilihan *tap*. Pemilihan nilai *tap* dapat didapatkan dengan rumus sebagai berikut :

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT\ ratio} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana I_{set} merupakan arus *pick up* dalam ampere dengan batasan $1.05I_n < I_{set} < 1.4I_n$. Batasan tersebut diambil dari standar British yaitu BS142. CT *ratio* merupakan nilai arus CT yang melewati rele pada gulungan primer CT atau gulungan sekunder CT.

Adapun setelan untuk *time dial* untuk menentukan waktu operasi dari rele. Penentuan *time dial* dari masing-masing kurva karakteristik invers dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$t_d = \frac{k \times TDS}{\left[\left(\frac{I_{sc\ max}}{I_{set}}\right)^\alpha - 1\right]} \dots\dots\dots(2.5)$$

Di mana :

- t_d = waktu operasi (detik)
- TDS = *Time Dial Setting*
- $I_{sc\ max}$ = arus hubung singkat maksimum (Ampere)
- I_{set} = arus *pickup* (Ampere)
- k = koefisien invers 1 (lihat Tabel 2.1)
- α = koefisien invers 2 (lihat Tabel 2.1)

Tabel 2.1 Koefisien Invers Time Dial

Tipe Kurva	Koefisien	
	k	α
<i>Standard Inverse</i>	0,14	0,02
<i>Very Inverse</i>	13,50	1,00
<i>Extremely Inverse</i>	80,00	2,00

2.4.4.2 Setting Rele Arus Lebih Waktu Instan

Rele arus lebih instan akan bekerja jika arus yang mengalir pada rele melebihi batasan arus yang diizinkan. Dalam menentukan *setting* arus

pickup instan , arus yang digunakan dalam perhitungan adalah I_{scmin} 2 fasa pada pembangkitan minimum. Dimana batasan penyetelan I_{set} adalah $I_{set} < 0,8 I_{scmin}$.

2.4.5 Koordinasi Rele Berdasarkan Arus dan Waktu

Pada saat melakukan koordinasi proteksi suatu sistem tenaga , koordinasi rele dengan mempertimbangkan urutan rele primer dan rele *backup* adalah sangat penting. Hal ini dilakukan agar tidak terjadi miskordinasi seperti trip secara bersamaan. Sesuai dengan standar IEEE 242 tentang selisih waktu antara rele primer dan rele *backup*, Δt yang diperbolehkan adalah 0,2 – 0,5 detik. Dengan spesifikasi peralatan sebagai berikut :

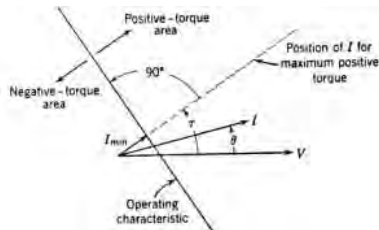
Waktu buka CB	: 0,04 – 0,1s (2-5 cycle)
Overtravel dari Rele	: 0,01 s
Faktor keamanan	: 0,12 – 0,22 s

Untuk rele berbasis *microprocessor*, *Overtravel time* dari rele dapat diabaikan sehingga waktu yang diperlukan adalah 0,2-0,3s.[4]

2.5 Rele Directional Over Current

Rele arah memiliki fungsi untuk membedakan arah suplai arus apakah menuju arah seharusnya atau menuju arah yang lainnya. Arah yang dimaksud adalah arah *forward* dan *reverse*. Kemudian rele arah ini sering diintegrasikan dengan rele arus lebih sehingga menjadi rele arus lebih berarah. Rele jenis ini menggunakan hubungan antara fasa arus dan fasa tegangan untuk menentukan arah gangguan.

Dalam penentuan daerah *trip*, rele arus lebih berarah ini dilengkapi dengan setelan sudut dari koneksi rele yang menghasilkan torsi maksimum. Setelan sudut ini biasa *disebut* sebagai *maximum torque angle* (MTA).



Gambar 2.5 Karakteristik Directional Over Current Relay

2.6 Pembangkit Tersebar (*Distributed Generator*)

Pada umumnya *Distributed Generator* merupakan pembangkitan dalam skala kecil (1 kW – 50 MW) yang menghasilkan listrik pada suatu tempat yang dekat dengan pelanggan pada sistem jaringan distribusi. *Distributed Generator* direpresentasikan oleh beberapa jenis pembangkit, seperti generator induksi, *microturbines*, *fuel cells*, *solar photovoltaic*, dan *wind turbines*. Beberapa keuntungan menggunakan DG di antaranya adalah :

1. Membantu pemenuhan kebutuhan listrik ke pelanggan pada tempat yang jauh dari sumber listrik.
2. Mengurangi tekanan yang dapat mengganggu kontinuitas daya pada jaringan distribusi dan transmisi.
3. Mengurangi biaya pemakaian listrik pada waktu terjadinya beban puncak karena sebagian beban ditanggung oleh DG.
4. Sebagai sumber listrik cadangan atau *backup* pada suatu tempat sehingga meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik.
5. Apabila dioperasikan dengan teknologi yang baik, DG dapat menghasilkan hampir tidak ada polusi pada suatu lingkungan.

Adapun kapasitas masing-masing dari beberapa contoh DG yang digunakan pada sistem jaringan distribusi maupun transmisi [8], seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Kapasitas *Distributed Generator*

<i>Distributed Generator</i>	Kapasitas DG
Combine Cycle Gas Turbine	35 KW – 400 MW
Internal Combustion Turbine	5 KW – 10 KW
Combustion Turbine	1 MW – 250 MW
Micro Turbines (MT)	35 KW-1 MW
Small Hydro	1 – 100 MW
Micro Hydro	25 KW – 1 MW
Wind Turbine (WT)	200 W- 3MW
Photovoltaic Array (PV)	20 W- 100 KW
Solar terminal, central receiver	1 MW- 80 MW
Solar terminal, Lutz system	10 MW – 80 MW
Biomass, e.g. based in gasification	100 KW – 20 MW
Fuel cells, phosacid	200 KW – 2 MW
Fuel cells, molten carbonate	250 KW – 2 MW

<i>Distributed Generator</i>	Kapasitas DG
Fuel cells, proton exchange	1 KW – 2 MW
Fuel cells, solid oxide	250 KW – 5 MW
Geothermal	5 – 100 MW
Ocean Energy	100 KW – 1 MW
Stirling Engine	2 – 10 KW
Battery Storage	500 KW- 5 MW

2.7 Algoritma MAPSO (*Modified Adaptive Particle Swarm Optimization*)

Modified Adaptive Particle Swarm Optimization memiliki kesamaan sifat dengan teknik komputasi seperti Algoritma Genetika (*Genetic Algorithm*). Sistem PSO diinisialisasi oleh sebuah populasi solusi secara acak dan selanjutnya mencari titik optimum dengan cara meng-update tiap hasil pembangkitan. Metode optimasi yang didasarkan pada *swarm intelligence* ini disebut algoritma *behaviorally inspired* sebagai alternatif dari algoritma genetika, yang sering disebut *evolution-based procedures*.

Dalam konteks optimasi multivariabel, kawanan diasumsikan mempunyai ukuran tertentu atau tetap dengan setiap partikel posisi awalnya yang terletak di suatu lokasi yang acak dalam ruang multidimensi. Setiap partikel diasumsikan memiliki dua parameter, yaitu posisi dan kecepatan. Setiap partikel bergerak dalam ruang tertentu dan mengingat posisi terbaik yang pernah dilalui atau ditemukan terhadap sumber makanan yang akan dituju atau nilai fungsi objektif. Setiap partikel menyampaikan informasi atau posisi terbaiknya kepada partikel yang lain sehingga partikel lain dapat menyesuaikan posisi dan kecepatan masing-masing berdasarkan informasi yang diterima mengenai informasi posisi terbaik tersebut.

2.7.1 Proses Inisiasi

Inisialisasi sekumpulan *particle* secara random dimana setiap *particle* merepresentasikan solusi yang mungkin untuk masalah optimasi. Pada tahap ini biasanya beberapa parameter *particle* memiliki batasan-batasan pada masing-masing kasus yang akan dioptimasi. Hal ini dilakukan untuk mencegah nilai random inisialisasi yang terlalu jauh.

Parameter yang sangat penting diinisialisasi pada algoritma PSO adalah posisi dari setiap *particle* (X_i), kecepatan dari setiap *particle* (V_i),

dan posisi terbaik dari setiap *particle* (P_i). Ketiga parameter ini dapat berupa lebih dari satu parameter yang akan dioptimasi atau biasa disebut dengan *multi objective*. Kemudian parameter lainnya yang harus diinisialisasi adalah nilai-nilai konstanta, seperti c_1 , c_2 , c_3 , r_1 , dan r_2 . Keempat konstanta tersebut dapat diperbaharui setiap iterasi nantinya atau hanya ditentukan sebuah angka (0 sampai 1).

2.7.2 Proses Iterasi dan *Updating Parameter*

Pada proses ini parameter-parameter penting yang sudah diinisiasi pada tahap sebelumnya masuk ke dalam tahap pembaharuan nilai-nilai parameter untuk mendapatkan nilai yang terbaik. Adapun formula untuk menghitung nilai-nilai parameter yang akan diperbaharui pada tahap iterasi adalah sebagai berikut :

$$v_{k+1} = w_k v_k + c_1 r_1 \times (P_{best} - x^k) + c_1 r_2 \times (x^k - P_{notbest}) + c_2 r_3 (G_{best} - x^k) \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :

- w_k = *inertia weight*
- c_1 = faktor *learning* untuk *particle*
- c_2 = faktor *learning* untuk *swarm*
- r_1 = random nilai 1 (0 sampai 1)
- r_2 = random nilai 2 (0 sampai 1)
- r_3 = random nilai 3 (0 sampai 1)
- v_k = kecepatan setiap *particle*
- x^k = posisi setiap *particle*
- v_{k+1} = kecepatan baru setiap *particle*
- P_{best} = posisi terbaik dari *particle*
- $P_{notbest}$ = posisi bukan terbaik dari *particle*
- G_{best} = posisi terbaik dari populasi

Nilai dari w_k disesuaikan dengan permasalahan optimasi yang diinginkan. Hal ini dikarenakan nilai dari formula untuk mencari nilai w_k adalah beragam. Pemilihan nilai w_k yang tepat akan mempercepat proses optimasi pada permasalahan yang diambil karena peran dari w_k adalah pengontrol keseimbangan antara eksplorasi *global* dan *local*.

Dalam algoritma MAPSO terdapat *update* pembatas kecepatan. Hal ini merupakan salah satu pembaharuan dari algoritma MAPSO dibandingkan algoritma PSO. Hal ini dilakukan untuk mempercepat proses konvergensi [10]. Formula untuk membatasi kecepatan pada algoritma MAPSO adalah sebagai berikut :

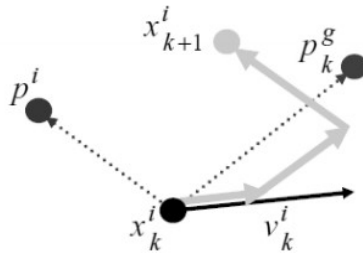
$$R = R^{initial} + (R^{final} - R^{initial}) * \left(\frac{iter}{iter\ max}\right) \dots \dots \dots (2.7)$$

$$V^{j,max} = R \times (X^{j,max} - X^{j,min}) \dots \dots \dots (2.8)$$

Diimana :

$$R^{initial} > R^{final}$$

Setiap nilai dari posisi setiap *particle* (X_i) dimana X_i ditentukan nilai fluktuasinya sesuai dengan permasalahan optimasinya akan dibandingkan dengan nilai terbaik yang dicapai oleh *local best* (P_i). Jika nilai dari fluktuasi $X_i < P_{best}$ maka P_{best} diganti dengan nilai fluktuasi dari X_i sedangkan jika nilai fluktuasi $X_i > P_{best}$ maka $P_{notbest}$ diganti dengan nilai fluktuasi dari X_i . Selain itu, setiap nilai fluktuasi dari *particle* akan dibandingkan dengan nilai terbaik yang dicapai dalam populasi G_{best} . Perubahan nilai posisi *particle* terhadap posisi terbaik *particle* dan posisi terbaik populasi dapat diilustrasikan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Ilustrasi Perubahan Posisi Setiap Particle

Jika pembaharuan nilai posisi setiap *particle* telah mencapai kondisi dimana nilai iterasi maksimum atau perulangan telah mencapai nilai optimum maka perulangan berhenti. Kemudian nilai optimumnya akan diambil sebagai hasil dari optimasi MAPSO. Jika belum mendapatkan hasil yang optimal, iterasi akan diulangi dengan masuk pada batasan antara posisi setiap *particle*, posisi terbaik *particle* , dan posisi terbaik populasi.

~Halaman ini sengaja dikosongkan~

BAB III PERANCANGAN SISTEM

3.1 Sistem Kelistrikan Distribusi Mesh

Pada tugas akhir ini, sistem kelistrikan distribusi mesh yang digunakan adalah sistem kelistrikan distribusi IEEE 8-bus. Dimana pada sistem kelistrikan ini dilakukan modifikasi dengan adanya penambahan 1 buah DG, penambahan 1 buah *transformator* yang terhubung dengan DG, 4 buah *lump load* yang tersambung pada bus 2, bus 3, bus 4, bus 5, bus 6, dan bus 7. Pada Tabel 3.1, Tabel 3.2, Tabel 3.3, Tabel 3.4, dan Tabel 3.5 terdapat spesifikasi-spesifikasi dari generator, *transformator*, DG yang terpasang pada bus 5, beban setiap bus dan data saluran kabel.

Tabel 3.1 Data Generator

No	ID Unit	Rating Daya (MW)	Tegangan (kV)	Power Factor (%)
1	Gen1	5	6,3	85
2	Gen2	5	6,3	85

Tabel 3.2 Data Transformator

No	ID Unit	MVA	Tegangan (kV)		Z(%)
			Primer	Sekunder	
1	T1	6	6,3	20	7,15
2	T2	6	6,3	20	7,15
3	T3	1	6,3	20	5

Tabel 3.3 Data Distributed Generator

No	ID Unit	Rating Daya (kW)	Tegangan (kV)	Power Factor (%)
1	DG	800	6,3	85

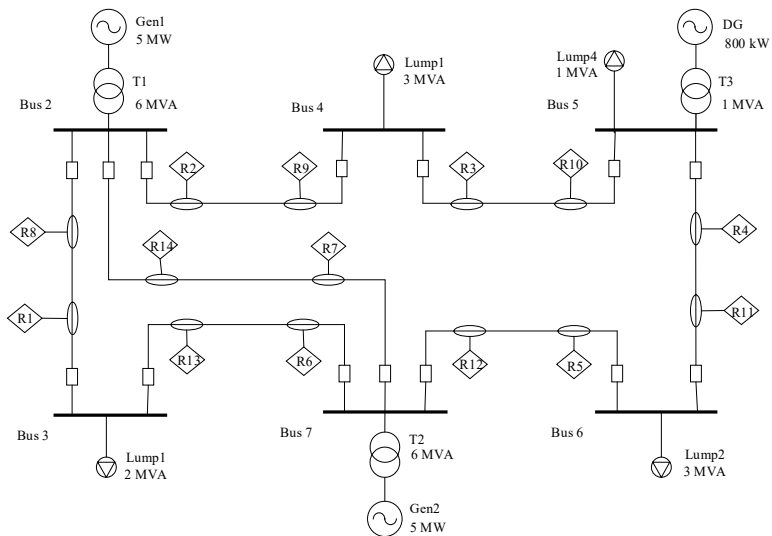
Tabel 3.4 Data Beban pada Setiap Bus

No	ID Unit	Bus	MVA	Tegangan (kV)	Power Factor (%)
1	Lump 1	3	2	20	85
2	Lump 2	6	3	20	85
3	Lump 3	4	3	20	99,68
4	Lump 4	5	1	20	85

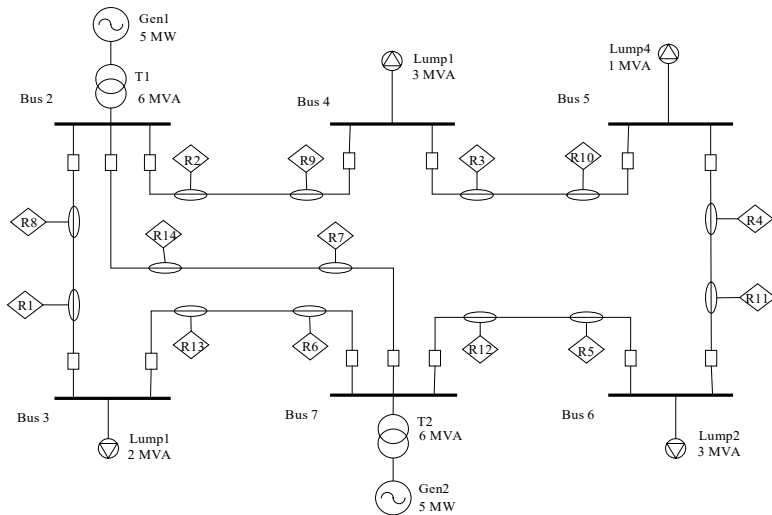
Tabel 3.5 Data Saluran

No	Cable ID	Panjang (km)	Z saluran (Ω/km)	
			$Z_{1L} = Z_{2L}$	Z_{0L}
1	Cable 1	0,5	$0,128+j0,098$	$0,204+j0,251$
2	Cable 2	0,5	$0,128+j0,098$	$0,204+j0,251$
3	Cable 3	2	$0,247+j0,109$	$0,393+j0,277$
4	Cable 4	2	$0,247+j0,109$	$0,393+j0,277$
5	Cable 5	1	$0,128+j0,098$	$0,204+j0,251$
6	Cable 6	1	$0,128+j0,098$	$0,204+j0,251$
7	Cable 7	1	$0,128+j0,098$	$0,204+j0,251$

Berikut ini adalah Gambar 3.1 dan Gambar 3.2 yang menggambarkan sistem kelistrikan distribusi mesh IEEE 8-Bus yang telah direkonfigurasi ke dalam jaringan distribusi dengan DG dan tanpa DG pada tugas akhir ini.



Gambar 3.1 Single Line Diagram dengan DG



Gambar 3.2 Single Line Diagram tanpa DG

3.2 Pasangan Rele Utama dan Rele *Backup*

Pasangan rele utama dan rele *backup* dapat ditentukan dengan menentukan arah arus yang mengalir pada sistem. Arah arus pada sistem distribusi mesh berasal dari beberapa sumber yang ada pada sistem. Hal ini menyebabkan rele-rele pengaman pada sistem distribusi mesh tergantung pada arah *reverse* dan *forward* dari sebuah arus. Dimana arah *forward* ditentukan dari arah koordinasi proteksi yang searah dengan jarum jam (*clock wise*) dan *reverse* ditentukan dari arah koordinasi proteksi yang berlawanan dengan jarum jam (*counter clock wise*).

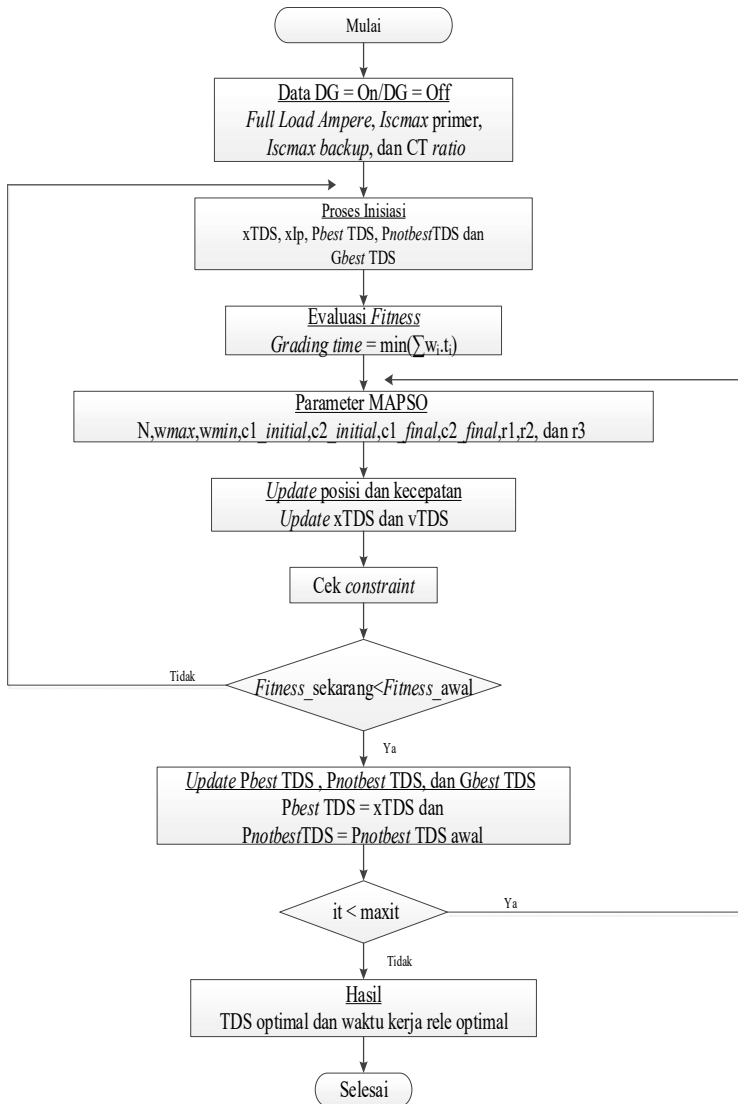
Pasangan rele utama dan rele *backup* pada sistem distribusi mesh di tugas akhir ini dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Pasangan rele utama dan rele *backup*

No	<i>Forward (CW)</i>		No	<i>Reverse (CCW)</i>	
	Rele utama	Rele <i>backup</i>		Rele utama	Rele <i>backup</i>
1	1	2	9	8	13
2	2	3	10	9	8
3	3	4	11	9	14
4	4	5	12	10	9
5	5	6	13	11	10
6	5	7	14	12	11
7	6	1	15	13	12
8	7	2	16	14	12

3.3 Optimasi Koordinasi Proteksi Menggunakan MAPSO

Pada saat melakukan optimasi koordinasi proteksi pada sistem distribusi mesh menggunakan algoritma MAPSO, dilakukan beberapa langkah guna untuk mencapai nilai TDS dan waktu operasi yang optimal. *Flowchart* dalam penggunaan algoritma MAPSO pada koordinasi rele DOCR dilakukan untuk mempermudah penyusunan algoritma. *Flowchart* algoritma MAPSO disusun seperti Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Flowchart Algoritma MAPSO

Penjelasan tentang sistematika penyusunan *flowchart* algoritma MAPSO untuk koordinasi proteksi sistem distribusi mesh di atas adalah sebagai berikut :

1. Langkah pertama

Pada tahap ini sejumlah data, seperti arus FLA, arus kontribusi hubung singkat maksimal pada setiap rele primer, arus kontribusi hubung singkat maksimal pada setiap rele *backup*, rasio CT, dan pasangan rele primer dan *backup* diambil dan dianalisa pada *software* ETAP 12.6.0, Data-data tersebut diambil sesuai dengan keadaan yang diinginkan, yaitu keadaan DG *on* atau *off*.

2. Langkah kedua

Proses inisiasi parameter posisi TDS (*Time Dial Setting*), arus *pickup*, nilai awal posisi terbaik TDS (*PbestTDS*), dan nilai awal global posisi terbaik TDS (*GbestTDS*) dilakukan pada tahap ini. Inisiasi nilai-nilai posisi TDS dilakukan dengan cara melakukan pengambilan nilai acak pada sejumlah populasi sesuai dengan batasan yang ditentukan. Nilai arus *pickup* ditentukan dengan mengambil sebuah nilai dari *range* yang telah ditentukan. Dalam tugas akhir ini diambil *range* dalam kondisi *lowset*. Adapun *constraint* yang digunakan untuk menginisiasi nilai posisi TDS dan arus *pickup* adalah sebagai berikut [9] :

- $TDS_{i \min} \leq TDS \leq TDS_{i \max}$
- $1,05 \times FLA \leq I_p \leq 1,4 \times FLA$

3. Langkah ketiga

Nilai hasil acak pada tahap kedua dikonversikan menjadi domain waktu dan dimasukkan kedalam fungsi objektif. Fungsi objektif yang digunakan adalah [1] :

$$\text{Min}(J) = \sum_{i=1}^n w_i t_i$$

Dimana n merupakan jumlah rele, t_i merupakan waktu operasi rele primer pada saat gangguan, dan w_i merupakan koefisien yang tergantung pada probabilitas gangguan yang terjadi pada setiap zona proteksi. Pada tugas akhir ini diberikan nilai w_i adalah 1. Hal ini mengacu pada referensi. [1]

4. Langkah keempat

Pada tahap ini, nilai-nilai parameter MAPSO ditentukan agar dapat masuk ke dalam proses algoritma MAPSO selanjutnya. Parameter-parameter MAPSO yang ditentukan nilainya antara lain adalah N (jumlah populasi), c_1 *initial* (koefisien *cognitive* awal), c_1 *final* (koefisien *cognitive* akhir), c_2 *initial* (koefisien *social* awal), c_2 *final* (koefisien *social* akhir), $R^{initial}$ (*Dynamic coefficient* awal), R^{final} (*Dynamic coefficient* akhir), dan nilai *random* (0 sampai 1) untuk parameter r (r_1 , r_2 , dan r_3). [10]

5. Langkah kelima

Proses *update* beberapa parameter MAPSO terjadi pada tahap ini. Parameter yang diperbaharui antara lain adalah posisi (x), kecepatan (v), koefisien c_1 dan c_2 , dan *dynamic coefficient* (R). Formula yang digunakan untuk memperbaharui nilai dari parameter-parameter tersebut adalah :

$$V_i = w * V_i + (c_1 * r_1 * (Pbest_i - X_i)) + (c_1 * r_2 * (X_i - Pnotbest_i)) + (c_2 * r_3 * (Gbest_i - X_i)) \dots \dots \dots (3.1)$$

$$X_i = X_i + V_i \dots \dots \dots (3.2)$$

6. Langkah keenam

Pada tahap ini parameter – parameter MAPSO yang berhubungan dengan *fitness function* akan dievaluasi berdasarkan *constraint* yang telah ditetapkan. Adapun *constraint* yang harus dipenuhi, di antaranya adalah [1]:

- a. Selisih waktu antara rele primer dan rele *backup* atau *coordination time interval* (CTI) pada saat gangguan adalah lebih besar atau sama dengan 0,2 – 0,4

$$t_{backup} - t_{primer} \geq CTI$$

- b. Waktu maksimal operasi rele primer sebesar 1 s

7. Langkah ketujuh

Apabila parameter-parameter yang telah didapat dari proses - *update* dan proses *constraint* parameter posisi $Pbest$ TDS dan $Pnotbest$ TDS.

$$\text{➤ } Pbest \text{ TDS} = xTDS$$

$$\text{➤ } Pnotbest \text{ TDS} = Pnotbest \text{ TDS}_{awal}$$

8. Langkah kedelapan
Setelah batasan *fitness function* dan parameter-parameter koordinasi proteksi terpenuhi, proses iterasi akan berhenti pada posisi maksimal iterasi yang ditentukan. Kemudian akan diperoleh nilai parameter-parameter TDS yang optimal .

BAB IV HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

4.1 Analisa Hubung Singkat

Pengambilan nilai-nilai arus hubung singkat pada tugas akhir ini dilakukan dengan menggunakan *software* ETAP 12.6.0, Simulasi arus hubung singkat yang digunakan pada tugas akhir ini adalah $I_{sc\ max}$ 3 fasa ketika 0,5 *cycle*. Hasil simulasi arus hubung singkat maksimal dengan DG dan tanpa DG dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.1 Arus Hubung Singkat Setiap Bus dengan DG

No	ID Bus	Tegangan (kV)	$I_{sc\ max}$ (kA)
1	Bus 2	20	2,75
2	Bus 3	20	2,74
3	Bus 4	20	2,73
4	Bus 5	20	2,68
5	Bus 6	20	2,72
6	Bus 7	20	2,75

Tabel 4.2 Arus Hubung Singkat Setiap Bus tanpa DG

No	ID Bus	Tegangan (kV)	$I_{sc\ max}$ (kA)
1	Bus 2	20	2,64
2	Bus 3	20	2,63
3	Bus 4	20	2,62
4	Bus 5	20	2,57
5	Bus 6	20	2,61
6	Bus 7	20	2,63

4.2 Arus Hubung Singkat Maksimum pada Rele

Pengambilan data arus kontribusi hubung singkat maksimal pada setiap rele dilakukan untuk *setting* kurva invers rele pada perhitungan manual dan program MAPSO. Data-data arus kontribusi hubung singkat yang dibutuhkan adalah arus kontribusi hubung singkat maksimal ($I_{sc\ max}$) pada rele primer dan arus kontribusi hubung singkat maksimal ($I_{sc\ max}$) pada rele *backup*.

Berikut ini adalah data-data hasil pengamatan yang dilakukan pada setiap bus :

4.2.1 Arus Hubung Singkat Maksimum dengan DG

Data-data arus kontribusi hubung singkat maksimal dengan DG diambil dari *software* ETAP 12.6.0, Data ini meliputi nominal arus hubung singkat pada setiap rele primer dan rele *backup* di setiap bus. Berikut data-data yang diambil dari *software* ETAP 12.6.0.

Tabel 4.3 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 2

Rele primer	Arus (kA)	Rele <i>backup</i>	Arus (kA)
Rele 2	0,700	Rele 3	0,254
Rele 8	0,678	Rele 13	0,380
Rele 14	0,719	Rele 12	0,451

Tabel 4.4 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 3

Rele primer	Arus (kA)	Rele <i>backup</i>	Arus (kA)
Rele 1	1,490	Rele 2	0,633
Rele 13	0,951	Rele 12	0,512

Tabel 4.5 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 4

Rele primer	Arus (kA)	Rele <i>backup</i>	Arus (kA)
Rele 9	1,880	Rele 8	0,612
Rele 9	1,880	Rele 14	0,622
Rele 3	0,410	Rele 4	0,154

Tabel 4.6 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 5

Rele primer	Arus (kA)	Rele <i>backup</i>	Arus (kA)
Rele 4	1,160	Rele 5	0,727
Rele 10	1,260	Rele 9	0,822

Tabel 4.7 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 6

Rele primer	Arus (kA)	Rele <i>backup</i>	Arus (kA)
Rele 5	1.770	Rele 6	0,510
Rele 5	1.770	Rele 7	0,620
Rele 11	0,506	Rele 10	0,250

Tabel 4.8 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 7

Rele primer	Arus (kA)	Rele <i>backup</i>	Arus (kA)
Rele 6	0,641	Rele 1	0,344
Rele 7	0,813	Rele 2	0,510
Rele 12	0,640	Rele 11	0,195

4.2.2 Arus Hubung Singkat Maksimum tanpa DG

Data-data arus kontribusi hubung singkat maksimal tanpa DG diambil dari *software* ETAP 12.6.0, Data ini meliputi nominal arus hubung singkat pada setiap rele primer dan rele *backup* di setiap bus.

Nilai arus yang diambil pada kondisi ini adalah lebih kecil dari kondisi arus kontribusi hubung singkat maksimal dengan DG. Hal ini disebabkan arus kontribusi yang diberikan oleh DG.[2] Berikut data-data yang diambil dari *software* ETAP 12.6.0.

Tabel 4.9 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 2

Rele primer	Arus (kA)	Rele <i>backup</i>	Arus (kA)
Rele 2	0,636	Rele 3	0,190
Rele 8	0,658	Rele 13	0,361
Rele 14	0,690	Rele 12	0,402

Tabel 4.10 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 3

Rele primer	Arus (kA)	Rele <i>backup</i>	Arus (kA)
Rele 1	1,420	Rele 2	0,573
Rele 13	0,908	Rele 12	0,460

Tabel 4.11 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 4

Rele primer	Arus (kA)	Rele <i>backup</i>	Arus (kA)
Rele 9	1,840	Rele 8	0,595
Rele 9	1,840	Rele 14	0,597
Rele 3	0,341	Rele 4	0,195

Tabel 4.12 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 5

Rele primer	Arus (kA)	Rele <i>backup</i>	Arus (kA)
Rele 4	1,160	Rele 5	0,727
Rele 10	1,260	Rele 9	0,822

Tabel 4.13 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 6

Rele primer	Arus (kA)	Rele <i>backup</i>	Arus (kA)
Rele 5	1,730	Rele 6	0,493
Rele 5	1,730	Rele 7	0,594
Rele 11	0,436	Rele 10	0,291

Tabel 4.14 Arus pada setiap rele saat terjadi hubung singkat di bus 7

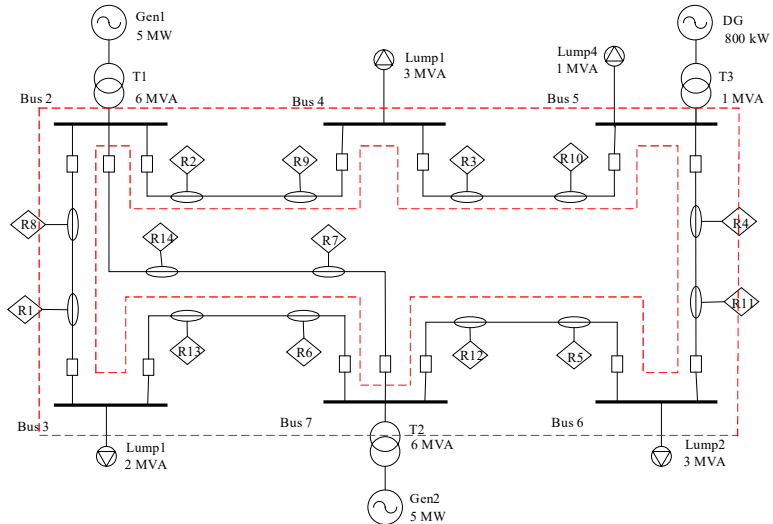
Rele primer	Arus (kA)	Rele <i>backup</i>	Arus (kA)
Rele 6	0,619	Rele 1	0,322
Rele 7	0,780	Rele 2	0,454
Rele 12	0,583	Rele 11	0,138

4.3 Koordinasi Proteksi pada Sistem Distribusi Mesh dengan DG Menggunakan Perhitungan Manual

Perhitungan manual koordinasi proteksi pada sistem distribusi mesh digunakan sebagai hasil pembandingan perhitungan koordinasi proteksi pada sistem distribusi mesh menggunakan algoritma MAPSO. Pada perhitungan ini dilakukan *setting lowset* untuk rele. Hal ini digunakan untuk mengamankan sistem dari gangguan bus dan *overload*.

Pada perhitungan manual ini, sistem distribusi mesh dengan DG dibagi menjadi 3 bagian. Bagian-bagian tersebut adalah *loop I*, *loop II*, dan *loop III*. Pembagian daerah *loop* pada perhitungan ini digunakan sebagai perhitungan secara akurat untuk semua arus kontribusi dari pembangkit. Perhitungan ini dilakukan dalam beberapa iterasi sampai hasil nilai TDS setiap rele konvergen pada iterasi selanjutnya.

➤ **Loop I**



Gambar 4.1 *Loop I* pada Sistem Distribusi Mesh dengan DG

Iterasi ke-1

❑ **Rele 1 (forward)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max utama	: 1490 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 200/1

• **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\
 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 182
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

- **Waktu Operasi**

Dipilih nilai $TDS_{(1)} = 0,1$

$$\begin{aligned} \text{top}_{(1)} &= \frac{80 \times TDS}{\left[\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= \frac{80 \times 0,1}{\left[\left(\frac{1490}{182} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= 0,12 \text{ s} \end{aligned}$$

- **Rele 2 (forward)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max backup	: 633 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 200/1

- **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\ 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\ 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\ \text{Dipilih } I_{pp} &= 182 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

- **Time Dial Setting**

$$\begin{aligned} \text{top}_{(1)} &= 0,12 \text{ s} + 0,2 \text{ s} \\ &= 0,32 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\text{top}_{(1)} = \frac{80 \times TDS}{\left[\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]}$$

$$0,32 = \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{1490}{182} \right)^2 - 1 \right]}$$

$$\text{TDS}_{(1)} = 0,264$$

□ **Rele 2 (forward)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
<i>Kurva Type</i>	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max utama	: 700 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 200/1

• **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\ 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\ 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\ \text{Dipilih } I_{pp} &= 182 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

• **Waktu Operasi**

$$\begin{aligned} t_{op(1)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \text{ max}}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= \frac{80 \times 0,264}{\left[\left(\frac{700}{182} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= 0,32 \text{ s} \end{aligned}$$

□ **Rele 3 (forward)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
<i>Kurva Type</i>	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max <i>backup</i>	: 254 A

FLA : 86,6 A
CT ratio : 100/1

- **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\ 1,05 \times 86,6 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 86,6 \\ 90,93 &\leq I_{pp} \leq 121,24 \\ \text{Dipilih } I_{pp} &= 91 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{91}{100} = 0,91$$

- **Time Dial Setting**

$$\begin{aligned} \text{top}_{(1)} &= 0,32 \text{ s} + 0,2 \text{ s} \\ &= 0,52 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{top}_{(1)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \text{ max}}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ 0,52 &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{254}{91} \right)^2 - 1 \right]} \end{aligned}$$

$$\text{TDS}_{(1)} = 0,044$$

- **Rele 3 (forward)**

Manufacturer : ALSTOM
Model : P343
Kurva Type : IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama : 410 A
FLA : 86,6 A
CT ratio : 100/1

- **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\ 1,05 \times 86,6 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 86,6 \end{aligned}$$

$$90,93 \leq I_{pp} \leq 121,24$$

Dipilih $I_{pp} = 91$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{91}{100} = 0,91$$

- **Waktu Operasi**

$$\begin{aligned} t_{op(1)} &= \frac{80 \times TDS}{\left[\left(\frac{I_{sc \text{ max}}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= \frac{80 \times 0,044}{\left[\left(\frac{410}{91} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= 0,18 \text{ s} \end{aligned}$$

- **Rele 4 (forward)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
<i>Kurva Type</i>	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
<i>Isc max backup</i>	: 154 A
FLA	: 86,6 A
CT ratio	: 100/1

- **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned} 1,05 \times FLA &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times FLA \\ 1,05 \times 86,6 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 86,6 \\ 90,93 &\leq I_{pp} \leq 121,24 \\ \text{Dipilih } I_{pp} &= 91 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{91}{100} = 0,91$$

- **Time Dial Setting**

$$\begin{aligned} t_{op(1)} &= 0,18 \text{ s} + 0,2 \text{ s} \\ &= 0,38 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\text{top}_{(1)} = \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]}$$

$$0,38 = \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{154}{91} \right)^2 - 1 \right]}$$

$$\text{TDS}_{(1)} = 0,01$$

❑ **Rele 4 (forward)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
<i>Kurva Type</i>	: <i>IEC Extremely Inverse</i>
Isc max utama	: 1160 A
FLA	: 86,6 A
CT ratio	: 100/1

• **Low Set Current Setting**

$$1,05 \times \text{FLA} \leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 86,6 \leq I_{pp} \leq 1,4 \times 86,6$$

$$90,93 \leq I_{pp} \leq 121,24$$

$$\text{Dipilih } I_{pp} = 91$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{91}{100} = 0,91$$

• **Waktu Operasi**

$$\text{top}_{(1)} = \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]}$$

$$= \frac{80 \times 0,01}{\left[\left(\frac{1160}{91} \right)^2 - 1 \right]}$$

$$= 0,01 \text{ s}$$

❑ **Rele 5 (forward)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343

Kurva Type : IEC *Extremely Inverse*
Isc max backup : 727 A
 FLA : 173,2 A
 CT ratio : 200/1

- **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\
 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 182
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

- **Time Dial Setting**

$$\begin{aligned}
 \text{top}_{(1)} &= 0,01 \text{ s} + 0,2 \text{ s} \\
 &= 0,21 \text{ s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{top}_{(1)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \text{ max}}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\
 0,21 &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{727}{182} \right)^2 - 1 \right]}
 \end{aligned}$$

$$\text{TDS}_{(1)} = 0,039$$

□ **Rele 5 (forward)**

Manufacturer : ALSTOM
 Model : P343
Kurva Type : IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama : 1770 A
 FLA : 173,2 A
 CT ratio : 200/1

- **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 182 \\
 \text{Tap} &= \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91
 \end{aligned}$$

- **Waktu Operasi**

$$\begin{aligned}
 t_{op(1)} &= \frac{80 \times TDS}{\left[\left(\frac{I_{sc \text{ max}}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\
 &= \frac{80 \times 0,039}{\left[\left(\frac{1770}{182} \right)^2 - 1 \right]} \\
 &= 0,04 \text{ s}
 \end{aligned}$$

- **Rele 6 (forward)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max backup	: 510 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 200/1

- **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times FLA &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times FLA \\
 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\
 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 182
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

- **Time Dial Setting**

$$\begin{aligned}
 t_{op(1)} &= 0,04 \text{ s} + 0,2 \text{ s} \\
 &= 0,24 \text{ s}
 \end{aligned}$$

$$t_{op(1)} = \frac{80 \times TDS}{\left[\left(\frac{I_{sc \text{ max}}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]}$$

$$0,24 = \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{510}{182} \right)^2 - 1 \right]}$$

$$\text{TDS}_{(1)} = 0,021$$

Iterasi ke-2

□ Rele 6 (forward)

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max utama	: 641 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 200/1

• Low Set Current Setting

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\ 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\ 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\ \text{Dipilih } I_{pp} &= 182 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

• Waktu Operasi

$$\begin{aligned} t_{op(2)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \text{ max}}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= \frac{80 \times 0,021}{\left[\left(\frac{641}{182} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= 0,15 \text{ s} \end{aligned}$$

□ Rele 1 (forward)

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max backup	: 344 A

FLA : 173,2 A
CT ratio : 200/1

- **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\ 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\ 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\ \text{Dipilih } I_{pp} &= 182 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

- **Time Dial Setting**

$$\begin{aligned} \text{top}_{(2)} &= 0,15 \text{ s} + 0,2 \text{ s} \\ &= 0,35 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{top}_{(2)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \text{ max}}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ 0,35 &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{344}{182} \right)^2 - 1 \right]} \end{aligned}$$

$$\text{TDS}_{(2)} = 0,011$$

- **Rele 1 (forward)**

Manufacturer : ALSTOM
Model : P343
Kurva Type : IEC *Extremely Inverse*
Isc max utama : 1490 A
FLA : 173,2 A
CT ratio : 200/1

- **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\ 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\ 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\ \text{Dipilih } I_{pp} &= 182 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

- **Waktu Operasi**

$$\begin{aligned} \text{top}_{(2)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \text{ max}}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= \frac{80 \times 0,011}{\left[\left(\frac{1490}{182} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= 0,01 \text{ s} \end{aligned}$$

- **Rele 2 (forward)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max <i>backup</i>	: 633 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 200/1

- **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\ 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\ 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\ \text{Dipilih } I_{pp} &= 182 \\ \text{Tap} &= \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91 \end{aligned}$$

- **Time Dial Setting**

$$\begin{aligned} \text{top}_{(2)} &= 0,01 \text{ s} + 0,2 \text{ s} \\ &= 0,21 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{top}_{(2)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \text{ max}}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ 0,21 &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{633}{182} \right)^2 - 1 \right]} \end{aligned}$$

$$TDS_{(2)} = 0,029$$

Iterasi pada *loop* I dilakukan sampai nilai $TDS_{(n)} = TDS_{(n-1)}$ untuk setiap rele yang dihitung pada posisi *forward*. Dalam hal ini *error* dari nilai TDS setiap rele mendekati nol.

Iterasi ke-1

☐ Rele 13 (reverse)

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
<i>Kurva Type</i>	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max utama	: 951 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 200/1

• Low Set Current Setting

$$\begin{aligned}
 1,05 \times FLA &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times FLA \\
 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\
 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 182
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

• Waktu Operasi

Dipilih nilai $TDS_{(1)} = 0,1$

$$\begin{aligned}
 t_{op(1)} &= \frac{80 \times TDS}{\left[\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\
 &= \frac{80 \times 0,1}{\left[\left(\frac{951}{182} \right)^2 - 1 \right]} \\
 &= 0,03 \text{ s}
 \end{aligned}$$

❑ **Rele 12 (reverse)**

Manufacturer : ALSTOM
 Model : P343
Kurva Type : IEC *Extremely Inverse*
 Isc max *backup* : 512 A
 FLA : 173,2 A
 CT ratio : 200/1

• **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\ 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\ 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\ \text{Dipilih } I_{pp} &= 182 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

• **Time Dial Setting**

$$\begin{aligned} \text{top}_{(1)} &= 0,03 \text{ s} + 0,2 \text{ s} \\ &= 0,23 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{top}_{(1)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \text{ max}}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ 0,23 &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{512}{182} \right)^2 - 1 \right]} \end{aligned}$$

$$\text{TDS}_{(1)} = 0,019$$

❑ **Rele 12 (reverse)**

Manufacturer : ALSTOM
 Model : P343
Kurva Type : IEC *Extremely Inverse*
 Isc max *utama* : 640 A
 FLA : 173,2 A
 CT ratio : 200/1

- **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\
 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 182
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

- **Waktu Operasi**

$$\begin{aligned}
 t_{op(1)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \text{ max}}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\
 &= \frac{80 \times 0,019}{\left[\left(\frac{640}{182} \right)^2 - 1 \right]} \\
 &= 0,13 \text{ s}
 \end{aligned}$$

❑ **Rele 11 (reverse)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max backup	: 195 A
FLA	: 86,6 A
CT ratio	: 100/1

- **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 86,6 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 86,6 \\
 90,93 &\leq I_{pp} \leq 121,24 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 91
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{91}{100} = 0,91$$

- **Time Dial Setting**

$$\begin{aligned}
 t_{op(1)} &= 0,13 \text{ s} + 0,2 \text{ s} \\
 &= 0,33 \text{ s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{top}_{(1)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ 0,33 &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{195}{91} \right)^2 - 1 \right]} \end{aligned}$$

$$\text{TDS}_{(1)} = 0,015$$

□ **Rele 11 (reverse)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
<i>Kurva Type</i>	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max utama	: 506 A
FLA	: 86,6 A
CT ratio	: 100/1

• **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\ 1,05 \times 86,6 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 86,6 \\ 90,93 &\leq I_{pp} \leq 121,24 \\ \text{Dipilih } I_{pp} &= 91 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{91}{100} = 0,91$$

• **Waktu Operasi**

$$\begin{aligned} \text{top}_{(1)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= \frac{80 \times 0,015}{\left[\left(\frac{506}{91} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= 0,17 \text{ s} \end{aligned}$$

❑ **Rele 10 (reverse)**

Manufacturer : ALSTOM
 Model : P343
Kurva Type : IEC *Extremely Inverse*
 Isc max *backup* : 250 A
 FLA : 86,6 A
 CT ratio : 100/1

• **Low Set Current Setting**

$1,05 \times \text{FLA} \leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA}$
 $1,05 \times 86,6 \leq I_{pp} \leq 1,4 \times 86,6$
 $90,93 \leq I_{pp} \leq 121,24$
 Dipilih $I_{pp} = 91$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{91}{100} = 0,91$$

• **Time Dial Setting**

$$\begin{aligned} \text{top}_{(1)} &= 0,17 \text{ s} + 0,2 \text{ s} \\ &= 0,37 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{top}_{(1)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \text{ max}}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ 0,37 &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{250}{91} \right)^2 - 1 \right]} \end{aligned}$$

$$\text{TDS}_{(1)} = 0,03$$

❑ **Rele 10 (reverse)**

Manufacturer : ALSTOM
 Model : P343
Kurva Type : IEC *Extremely Inverse*
 Isc max *utama* : 1260 A
 FLA : 86,6 A
 CT ratio : 100/1

- **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 86,6 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 86,6 \\
 90,93 &\leq I_{pp} \leq 121,24 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 91
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{91}{100} = 0,91$$

- **Waktu Operasi**

$$\begin{aligned}
 t_{op(1)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \text{ max}}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\
 &= \frac{80 \times 0,03}{\left[\left(\frac{1260}{91} \right)^2 - 1 \right]} \\
 &= 0,01 \text{ s}
 \end{aligned}$$

□ **Rele 9 (reverse)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
<i>Kurva Type</i>	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
<i>Isc max backup</i>	: 822 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 200/1

- **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\
 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 182
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

- **Time Dial Setting**

$$\begin{aligned} \text{top}_{(1)} &= 0,01 \text{ s} + 0,2 \text{ s} \\ &= 0,21 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\text{top}_{(1)} = \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]}$$

$$0,21 = \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{822}{182} \right)^2 - 1 \right]}$$

$$\text{TDS}_{(1)} = 0,051$$

- **Rele 9 (reverse)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max utama	: 1880 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 200/1

- **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\ 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\ 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\ \text{Dipilih } I_{pp} &= 182 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{\text{CT Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

- **Waktu Operasi**

$$\begin{aligned} \text{top}_{(1)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= \frac{80 \times 0,051}{\left[\left(\frac{1880}{182} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= 0,04 \text{ s} \end{aligned}$$

❑ **Rele 8 (reverse)**

Manufacturer : ALSTOM
 Model : P343
Kurva Type : IEC *Extremely Inverse*
 Isc max *backup* : 612 A
 FLA : 173,2 A
 CT ratio : 200/1

• **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\ 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\ 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\ \text{Dipilih } I_{pp} &= 182 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

• **Time Dial Setting**

$$\begin{aligned} \text{top}_{(1)} &= 0,04 \text{ s} + 0,2 \text{ s} \\ &= 0,24 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{top}_{(1)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \text{ max}}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ 0,24 &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{612}{182} \right)^2 - 1 \right]} \end{aligned}$$

$$\text{TDS}_{(1)} = 0,031$$

Iterasi ke-2

❑ **Rele 8 (reverse)**

Manufacturer : ALSTOM
 Model : P343
Kurva Type : IEC *Extremely Inverse*
 Isc max *utama* : 678 A
 FLA : 173,2 A
 CT ratio : 200/1

- **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\
 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 182
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

- **Waktu Operasi**

$$\begin{aligned}
 t_{op(2)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \text{ max}}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\
 &= \frac{80 \times 0,031}{\left[\left(\frac{678}{182} \right)^2 - 1 \right]} \\
 &= 0,19 \text{ s}
 \end{aligned}$$

❑ **Rele 13 (reverse)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max backup	: 380 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 200/1

- **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\
 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 182
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

- **Time Dial Setting**

$$\begin{aligned}
 t_{op(2)} &= 0,19 \text{ s} + 0,2 \text{ s} \\
 &= 0,21 \text{ s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{top}_{(2)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ 0,21 &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{380}{182} \right)^2 - 1 \right]} \end{aligned}$$

$$\text{TDS}_{(2)} = 0,01$$

□ **Rele 13 (reverse)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max utama	: 951 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 200/1

• **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\ 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\ 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\ \text{Dipilih } I_{pp} &= 182 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

• **Waktu Operasi**

$$\begin{aligned} \text{top}_{(2)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= \frac{80 \times 0,01}{\left[\left(\frac{951}{182} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= 0,03 \text{ s} \end{aligned}$$

❑ **Rele 12 (reverse)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max <i>backup</i>	: 512 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 200/1

• **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\
 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 182
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

• **Time Dial Setting**

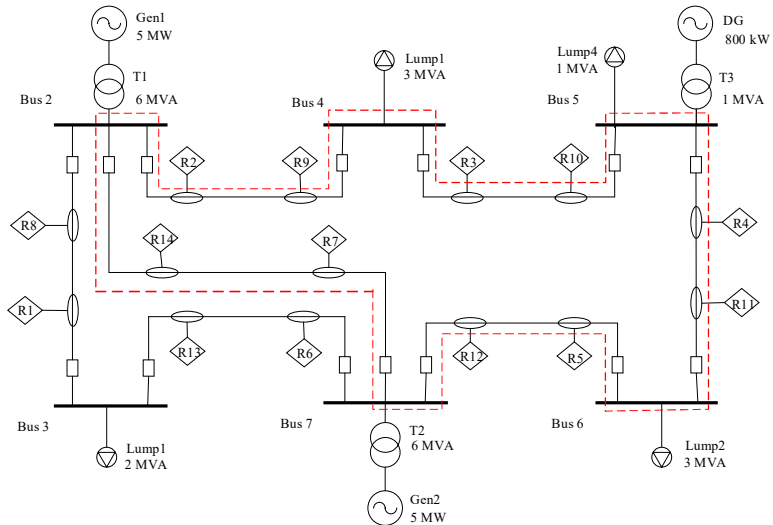
$$\begin{aligned}
 \text{top}_{(2)} &= 0,03 \text{ s} + 0,2 \text{ s} \\
 &= 0,23 \text{ s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{top}_{(2)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \text{ max}}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\
 0,23 &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{512}{182} \right)^2 - 1 \right]}
 \end{aligned}$$

$$\text{TDS}_{(2)} = 0,019$$

Iterasi pada *loop* I dilakukan sampai nilai $\text{TDS}_{(n)} = \text{TDS}_{(n-1)}$ untuk setiap rele yang dihitung pada posisi *reverse*. Dalam hal ini *error* dari nilai TDS setiap rele mendekati nol.

➤ **Loop II**



Gambar 4.2 *Loop II* pada Sistem Distribusi Mesh dengan DG

Iterasi ke-1

❑ **Rele 2 (forward)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max utama	: 700 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 200/1

• **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\
 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 182
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

- **Waktu Operasi**

Dipilih nilai $TDS_{(1)} = 0,1$

$$\begin{aligned} \text{top}_{(1)} &= \frac{80 \times TDS}{\left[\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= \frac{80 \times 0,1}{\left[\left(\frac{700}{182} \right)^2 - 1 \right]} \end{aligned}$$

$$= 0,58 \text{ s}$$

- **Rele 3 (forward)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max backup	: 254 A
FLA	: 86,6 A
CT ratio	: 100/1

- **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\ 1,05 \times 86,6 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 86,6 \\ 90,93 &\leq I_{pp} \leq 121,24 \\ \text{Dipilih } I_{pp} &= 91 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{91}{100} = 0,91$$

- **Time Dial Setting**

$$\begin{aligned} \text{top}_{(1)} &= 0,58 \text{ s} + 0,2 \text{ s} \\ &= 0,78 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\text{top}_{(1)} = \frac{80 \times TDS}{\left[\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]}$$

$$0,59 = \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{254}{91} \right)^2 - 1 \right]}$$

$$\text{TDS}_{(1)} = 0,05$$

□ **Rele 3 (forward)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
<i>Kurva Type</i>	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max utama	: 410 A
FLA	: 86,6 A
CT ratio	: 100/1

• **Low Set Current Setting**

$$1,05 \times \text{FLA} \leq \text{Ipp} \leq 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 86,6 \leq \text{Ipp} \leq 1,4 \times 86,6$$

$$90,93 \leq \text{Ipp} \leq 121,24$$

$$\text{Dipilih Ipp} = 91$$

$$\text{Tap} = \frac{\text{Ipp}}{\text{CT Primary}} = \frac{91}{100} = 0,91$$

• **Waktu Operasi**

$$\begin{aligned} \text{top}_{(1)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= \frac{80 \times 0,05}{\left[\left(\frac{410}{91} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= 0,21 \text{ s} \end{aligned}$$

□ **Rele 4 (forward)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
<i>Kurva Type</i>	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max <i>backup</i>	: 154 A
FLA	: 86,6 A
CT ratio	: 100/1

- **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 86,6 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 86,6 \\
 90,93 &\leq I_{pp} \leq 121,24 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 91
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{91}{100} = 0,91$$

- **Time Dial Setting**

$$\begin{aligned}
 \text{top}_{(1)} &= 0,21 \text{ s} + 0,2 \text{ s} \\
 &= 0,41 \text{ s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{top}_{(1)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \text{ max}}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\
 0,41 &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{154}{91} \right)^2 - 1 \right]}
 \end{aligned}$$

$$\text{TDS}_{(1)} = 0,01$$

□ **Rele 4 (forward)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max utama	: 1160 A
FLA	: 86,6 A
CT ratio	: 100/1

- **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 86,6 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 86,6 \\
 90,93 &\leq I_{pp} \leq 121,24 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 91
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{91}{100} = 0,91$$

- **Waktu Operasi**

$$\begin{aligned} \text{top}_{(1)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= \frac{80 \times 0,01}{\left[\left(\frac{1160}{91} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= 0,01 \text{ s} \end{aligned}$$

- **Rele 5 (forward)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max <i>backup</i>	: 727 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 200/1

- **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\ 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\ 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\ \text{Dipilih } I_{pp} &= 182 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{151} = 0,91$$

- **Time Dial Setting**

$$\begin{aligned} \text{top}_{(1)} &= 0,01 \text{ s} + 0,2 \text{ s} \\ &= 0,21 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{top}_{(1)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ 0,21 &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{727}{182} \right)^2 - 1 \right]} \end{aligned}$$

$$\text{TDS}_{(1)} = 0,039$$

❑ **Rele 5 (forward)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
<i>Kurva Type</i>	: <i>IEC Extremely Inverse</i>
Isc max utama	: 1770 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 200/1

• **Low Set Current Setting**

$$1,05 \times \text{FLA} \leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 173,2 \leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2$$

$$181,86 \leq I_{pp} \leq 242,48$$

$$\text{Dipilih } I_{pp} = 182$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{151} = 0,91$$

• **Waktu Operasi**

$$\begin{aligned} t_{op(1)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= \frac{80 \times 0,039}{\left[\left(\frac{1770}{182} \right)^2 - 1 \right]} \end{aligned}$$

$$= 0,03 \text{ s}$$

❑ **Rele 7 (forward)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
<i>Kurva Type</i>	: <i>IEC Extremely Inverse</i>
Isc max <i>backup</i>	: 620 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 200/1

• **Low Set Current Setting**

$$1,05 \times \text{FLA} \leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 173,2 \leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2$$

$$181,86 \leq I_{pp} \leq 242,48$$

Dipilih Ipp = 182

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

- **Time Dial Setting**

$$\begin{aligned} \text{top}_{(1)} &= 0,03 \text{ s} + 0,2 \text{ s} \\ &= 0,23 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{top}_{(1)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \text{ max}}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ 0,23 &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{620}{182} \right)^2 - 1 \right]} \end{aligned}$$

$$\text{TDS}_{(1)} = 0,03$$

Iterasi ke-2

□ **Rele 7 (forward)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
<i>Kurva Type</i>	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max utama	: 813 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 200/1

- **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\ 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\ 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\ \text{Dipilih Ipp} &= 182 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

- **Waktu Operasi**

$$\begin{aligned} \text{top}_{(2)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= \frac{80 \times 0,03}{\left[\left(\frac{813}{182} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= 0,13 \text{ s} \end{aligned}$$

- **Rele 2 (forward)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max backup	: 633 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 200/1

- **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\ 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\ 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\ \text{Dipilih } I_{pp} &= 182 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

- **Time Dial Setting**

$$\begin{aligned} \text{top}_{(2)} &= 0,13 \text{ s} + 0,2 \text{ s} \\ &= 0,33 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{top}_{(2)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ 0,33 &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{633}{182} \right)^2 - 1 \right]} \end{aligned}$$

$$\text{TDS}_{(2)} = 0,046$$

❑ **Rele 2 (forward)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
<i>Kurva Type</i>	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max utama	: 700 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 200/1

• **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\
 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 182
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

• **Waktu Operasi**

$$\begin{aligned}
 \text{top}_{(2)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \text{ max}}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\
 &= \frac{80 \times 0,046}{\left[\left(\frac{700}{182} \right)^2 - 1 \right]} \\
 &= 0,27 \text{ s}
 \end{aligned}$$

❑ **Rele 3 (forward)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
<i>Kurva Type</i>	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max <i>backup</i>	: 254 A
FLA	: 86,6 A
CT ratio	: 100/1

• **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 86,6 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 86,6
 \end{aligned}$$

$$90,93 \leq I_{pp} \leq 121,24$$

$$\text{Dipilih } I_{pp} = 91$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{91}{100} = 0,91$$

- **Time Dial Setting**

$$\begin{aligned} \text{top}_{(2)} &= 0,27 \text{ s} + 0,2 \text{ s} \\ &= 0,47 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{top}_{(2)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \text{ max}}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ 0,47 &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{254}{91} \right)^2 - 1 \right]} \end{aligned}$$

$$\text{TDS}_{(2)} = 0,039$$

Iterasi pada *loop* II dilakukan sampai nilai $\text{TDS}_{(n)} = \text{TDS}_{(n-1)}$ untuk setiap rele yang dihitung pada posisi *forward*. Dalam hal ini *error* dari nilai TDS setiap rele mendekati nol.

Iterasi ke-1

□ Rele 14 (reverse)

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
<i>Kurva Type</i>	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max utama	: 719 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 200/1

- **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\ 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\ 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\ \text{Dipilih } I_{pp} &= 182 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

- **Waktu Operasi**

Dipilih nilai $TDS_{(1)} = 0,1$

$$\begin{aligned} \text{top}_{(1)} &= \frac{80 \times TDS}{\left[\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= \frac{80 \times 0,1}{\left[\left(\frac{719}{182} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= 0,54 \text{ s} \end{aligned}$$

- **Rele 12 (reverse)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max backup	: 451 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 200/1

- **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\ 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\ 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \end{aligned}$$

Dipilih $I_{pp} = 182$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

- **Time Dial Setting**

$$\begin{aligned} \text{top}_{(1)} &= 0,54 \text{ s} + 0,2 \text{ s} \\ &= 0,74 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\text{top}_{(1)} = \frac{80 \times TDS}{\left[\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]}$$

$$0,74 = \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{451}{182} \right)^2 - 1 \right]}$$

$$\text{TDS}_{(1)} = 0,047$$

❑ **Rele 12 (reverse)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
<i>Kurva Type</i>	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max utama	: 640 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 200/1

• **Low Set Current Setting**

$$1,05 \times \text{FLA} \leq \text{Ipp} \leq 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 173,2 \leq \text{Ipp} \leq 1,4 \times 173,2$$

$$181,86 \leq \text{Ipp} \leq 242,48$$

$$\text{Dipilih Ipp} = 182$$

$$\text{Tap} = \frac{\text{Ipp}}{\text{CT Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

• **Waktu Operasi**

$$\begin{aligned} \text{top}_{(1)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{\text{Isc max}}{\text{Ipp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= \frac{80 \times 0,047}{\left[\left(\frac{640}{182} \right)^2 - 1 \right]} \end{aligned}$$

$$= 0,33 \text{ s}$$

❑ **Rele 11 (reverse)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
<i>Kurva Type</i>	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max <i>backup</i>	: 195 A
FLA	: 86,6 A
CT ratio	: 100/1

- **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\ 1,05 \times 86,6 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 86,6 \\ 90,93 &\leq I_{pp} \leq 121,24 \\ \text{Dipilih } I_{pp} &= 91 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{91}{100} = 0,91$$

- **Time Dial Setting**

$$\begin{aligned} \text{top}_{(1)} &= 0,33 \text{ s} + 0,2 \text{ s} \\ &= 0,53 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{top}_{(1)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \text{ max}}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ 0,53 &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{195}{91} \right)^2 - 1 \right]} \end{aligned}$$

$$\text{TDS}_{(1)} = 0,023$$

□ **Rele 11 (reverse)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
<i>Kurva Type</i>	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max utama	: 506 A
FLA	: 86,6 A
CT ratio	: 100/1

- **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\ 1,05 \times 86,6 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 86,6 \\ 90,93 &\leq I_{pp} \leq 121,24 \\ \text{Dipilih } I_{pp} &= 91 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{91}{100} = 0,91$$

- **Waktu Operasi**

$$\begin{aligned} \text{top}_{(1)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= \frac{80 \times 0,023}{\left[\left(\frac{506}{91} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= 0,06 \text{ s} \end{aligned}$$

- **Rele 10 (reverse)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max <i>backup</i>	: 250 A
FLA	: 86,6 A
CT ratio	: 100/1

- **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\ 1,05 \times 86,6 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 86,6 \\ 90,93 &\leq I_{pp} \leq 121,24 \\ \text{Dipilih } I_{pp} &= 91 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{91}{100} = 0,91$$

- **Time Dial Setting**

$$\begin{aligned} \text{top}_{(1)} &= 0,06 \text{ s} + 0,2 \text{ s} \\ &= 0,26 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{top}_{(1)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ 0,26 &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{250}{91} \right)^2 - 1 \right]} \end{aligned}$$

$$\text{TDS}_{(1)} = 0,021$$

❑ **Rele 10 (reverse)**

Manufacturer : ALSTOM
 Model : P343
Kurva Type : IEC *Extremely Inverse*
 Isc max utama : 1260 A
 FLA : 86,6 A
 CT ratio : 200/1

• **Low Set Current Setting**

$$1,05 \times \text{FLA} \leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 86,6 \leq I_{pp} \leq 1,4 \times 86,6$$

$$90,93 \leq I_{pp} \leq 121,24$$

$$\text{Dipilih } I_{pp} = 91$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{91}{100} = 0,91$$

• **Waktu Operasi**

$$\begin{aligned} \text{top}_{(1)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \text{ max}}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= \frac{80 \times 0,021}{\left[\left(\frac{1260}{91} \right)^2 - 1 \right]} \end{aligned}$$

$$= 0,01 \text{ s}$$

❑ **Rele 9 (reverse)**

Manufacturer : ALSTOM
 Model : P343
Kurva Type : IEC *Extremely Inverse*
 Isc max *backup* : 822 A
 FLA : 173,2 A
 CT ratio : 200/1

• **Low Set Current Setting**

$$1,05 \times \text{FLA} \leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 173,2 \leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2$$

$$181,86 \leq I_{pp} \leq 242,48$$

$$\text{Dipilih } I_{pp} = 182$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

- **Time Dial Setting**

$$\text{top}_{(1)} = 0,01 \text{ s} + 0,2 \text{ s}$$

$$= 0,21 \text{ s}$$

$$\text{top}_{(1)} = \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \text{ max}}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]}$$

$$0,21 = \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{822}{182} \right)^2 - 1 \right]}$$

$$\text{TDS}_{(1)} = 0,051$$

Iterasi ke-2

- **Rele 9 (reverse)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max utama	: 1880 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 200/1

- **Low Set Current Setting**

$$1,05 \times \text{FLA} \leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA}$$

$$1,05 \times 173,2 \leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2$$

$$181,86 \leq I_{pp} \leq 242,48$$

$$\text{Dipilih } I_{pp} = 182$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

- **Waktu Operasi**

$$\begin{aligned} \text{top}_{(2)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= \frac{80 \times 0,051}{\left[\left(\frac{1880}{182} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= 0,04 \text{ s} \end{aligned}$$

- **Rele 14 (reverse)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max <i>backup</i>	: 622 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 200/1

- **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\ 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\ 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\ \text{Dipilih } I_{pp} &= 182 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

- **Time Dial Setting**

$$\begin{aligned} \text{top}_{(2)} &= 0,04 \text{ s} + 0,2 \text{ s} \\ &= 0,24 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{top}_{(2)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ 0,24 &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{622}{182} \right)^2 - 1 \right]} \end{aligned}$$

$$\text{TDS}_{(2)} = 0,032$$

❑ **Rele 14 (reverse)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
<i>Kurva Type</i>	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max utama	: 719 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 200/1

• **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\
 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 182
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

• **Waktu Operasi**

$$\begin{aligned}
 t_{op(2)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\
 &= \frac{80 \times 0,032}{\left[\left(\frac{719}{182} \right)^2 - 1 \right]} \\
 &= 0,18 \text{ s}
 \end{aligned}$$

❑ **Rele 12 (reverse)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
<i>Kurva Type</i>	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max <i>backup</i>	: 451 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 200/1

• **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\
 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48
 \end{aligned}$$

$$\text{Dipilih } I_{pp} = 182$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

- **Time Dial Setting**

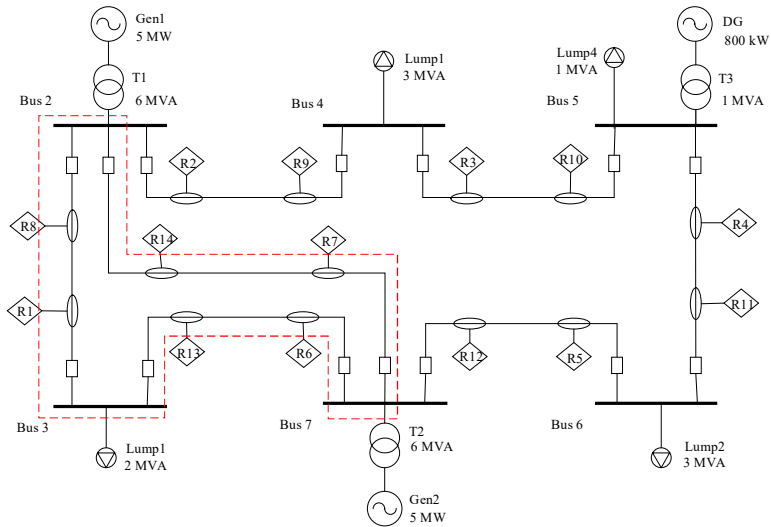
$$\begin{aligned} \text{top}_{(2)} &= 0,18 \text{ s} + 0,2 \text{ s} \\ &= 0,28 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{top}_{(2)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \text{ max}}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ 0,28 &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{451}{182} \right)^2 - 1 \right]} \end{aligned}$$

$$\text{TDS}_{(2)} = 0,018$$

Iterasi pada *loop* II dilakukan sampai nilai $\text{TDS}_{(n)} = \text{TDS}_{(n-1)}$ untuk setiap rele yang dihitung pada posisi *reverse*. Dalam hal ini *error* dari nilai TDS setiap rele mendekati nol.

➤ Loop III



Gambar 4.3 Loop III pada Sistem Distribusi Mesh dengan DG

Iterasi ke-1

❑ Rele 1 (forward)

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC Extremely Inverse
Isc max utama	: 1490 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 200/1

• Low Set Current Setting

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\
 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 182
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{\text{CT Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

- **Waktu Operasi**

Dipilih nilai $TDS_{(1)} = 0,1$

$$\begin{aligned} top_{(1)} &= \frac{80 \times TDS}{\left[\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= \frac{80 \times 0,1}{\left[\left(\frac{1490}{182} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= 0,12 \text{ s} \end{aligned}$$

- **Rele 14 (forward)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max backup	: 622 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 200/1

- **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned} 1,05 \times FLA &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times FLA \\ 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\ 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\ \text{Dipilih } I_{pp} &= 182 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

- **Time Dial Setting**

$$\begin{aligned} top_{(1)} &= 0,12 \text{ s} + 0,2 \text{ s} \\ &= 0,22 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} top_{(1)} &= \frac{80 \times TDS}{\left[\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ 0,22 &= \frac{80 \times TDS}{\left[\left(\frac{606}{182} \right)^2 - 1 \right]} \end{aligned}$$

$$TDS_{(1)} = 0,027$$

❑ **Rele 14 (forward)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
<i>Kurva Type</i>	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max utama	: 719 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 200/1

• **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\ 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\ 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\ \text{Dipilih } I_{pp} &= 182 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{91}{100} = 0,91$$

• **Waktu Operasi**

$$\begin{aligned} t_{op(1)} &= \frac{80 \times TDS}{\left[\left(\frac{I_{sc \text{ max}}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= \frac{80 \times 0,027}{\left[\left(\frac{719}{182} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= 0,15 \text{ s} \end{aligned}$$

❑ **Rele 6 (forward)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
<i>Kurva Type</i>	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max <i>backup</i>	: 510 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 200/1

- **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\ 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\ 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\ \text{Dipilih } I_{pp} &= 182 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

- **Time Dial Setting**

$$\begin{aligned} \text{top}_{(1)} &= 0,21 \text{ s} + 0,2 \text{ s} \\ &= 0,41 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{top}_{(1)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \text{ max}}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ 0,15 &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{510}{182} \right)^2 - 1 \right]} \end{aligned}$$

$$\text{TDS}_{(1)} = 0,013$$

Iterasi ke-2

□ **Rele 6 (forward)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
<i>Kurva Type</i>	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max utama	: 641 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 200/1

- **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\ 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\ 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\ \text{Dipilih } I_{pp} &= 182 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

- **Waktu Operasi**

$$\begin{aligned} \text{top}_{(2)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= \frac{80 \times 0,013}{\left[\left(\frac{641}{182} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= 0,09 \text{ s} \end{aligned}$$

- **Rele 1 (forward)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max <i>backup</i>	: 344 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 200/1

- **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\ 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\ 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\ \text{Dipilih } I_{pp} &= 182 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

- **Time Dial Setting**

$$\begin{aligned} \text{top}_{(2)} &= 0,09 \text{ s} + 0,2 \text{ s} \\ &= 0,29 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{top}_{(2)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ 0,29 &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{344}{182} \right)^2 - 1 \right]} \end{aligned}$$

$$\text{TDS}_{(2)} = 0,01$$

❑ **Rele 1 (forward)**

Manufacturer : ALSTOM
 Model : P343
 Kurva Type : IEC *Extremely Inverse*
 Isc max utama : 1490 A
 FLA : 173,2 A
 CT ratio : 200/1

• **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\ 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\ 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\ \text{Dipilih } I_{pp} &= 182 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

• **Waktu Operasi**

$$\begin{aligned} t_{op(2)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \text{ max}}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= \frac{80 \times 0,01}{\left[\left(\frac{1490}{182} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= 0,01 \text{ s} \end{aligned}$$

❑ **Rele 14 (forward)**

Manufacturer : ALSTOM
 Model : P343
 Kurva Type : IEC *Extremely Inverse*
 Isc max *backup* : 622 A
 FLA : 173,2 A
 CT ratio : 100/1

• **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\ 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\ 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \end{aligned}$$

$$\text{Dipilih } I_{pp} = 182$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

- **Time Dial Setting**

$$\begin{aligned} \text{top}_{(2)} &= 0,021 \text{ s} + 0,2 \text{ s} \\ &= 0,21 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{top}_{(2)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \text{ max}}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ 0,21 &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{622}{182} \right)^2 - 1 \right]} \end{aligned}$$

$$\text{TDS}_{(2)} = 0,028$$

Iterasi pada *loop* III dilakukan sampai nilai $\text{TDS}_{(n)} = \text{TDS}_{(n-1)}$ untuk setiap rele yang dihitung pada posisi *forward*. Dalam hal ini *error* dari nilai TDS setiap rele mendekati nol.

Iterasi ke-1

□ Rele 13 (reverse)

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
<i>Kurva Type</i>	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max utama	: 951 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 200/1

- **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\ 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\ 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\ \text{Dipilih } I_{pp} &= 182 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

- **Waktu Operasi**

Dipilih nilai $TDS_{(1)} = 0,1$

$$\begin{aligned} top_{(1)} &= \frac{80 \times TDS}{\left[\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= \frac{80 \times 0,1}{\left[\left(\frac{951}{182} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= 0,31 \text{ s} \end{aligned}$$

- **Rele 7 (reverse)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max backup	: 620 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 200/1

- **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned} 1,05 \times FLA &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times FLA \\ 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\ 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\ \text{Dipilih } I_{pp} &= 182 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

- **Time Dial Setting**

$$\begin{aligned} top_{(1)} &= 0,31 \text{ s} + 0,2 \text{ s} \\ &= 0,51 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} top_{(1)} &= \frac{80 \times TDS}{\left[\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ 0,51 &= \frac{80 \times TDS}{\left[\left(\frac{620}{182} \right)^2 - 1 \right]} \end{aligned}$$

$$TDS_{(1)} = 0,067$$

❑ **Rele 7 (reverse)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
<i>Kurva Type</i>	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max utama	: 813 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 200/1

• **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned} 1,05 \times FLA &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times FLA \\ 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\ 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\ \text{Dipilih } I_{pp} &= 182 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{91}{100} = 0,91$$

• **Waktu Operasi**

$$\begin{aligned} t_{op(1)} &= \frac{80 \times TDS}{\left[\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= \frac{80 \times 0,067}{\left[\left(\frac{813}{182} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= 0,28 \text{ s} \end{aligned}$$

❑ **Rele 8 (reverse)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
<i>Kurva Type</i>	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max <i>backup</i>	: 612 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 200/1

• **Low Set Current Setting**

$$1,05 \times FLA \leq I_{pp} \leq 1,4 \times FLA$$

$$\begin{aligned}
 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\
 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 182
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

- **Time Dial Setting**

$$\begin{aligned}
 \text{top}_{(1)} &= 0,28 \text{ s} + 0,2 \text{ s} \\
 &= 0,48 \text{ s}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{top}_{(1)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \text{ max}}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\
 0,48 &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{601}{182} \right)^2 - 1 \right]}
 \end{aligned}$$

$$\text{TDS}_{(1)} = 0,059$$

Iterasi ke-2

□ **Rele 8 (reverse)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
<i>Kurva Type</i>	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max utama	: 678 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 200/1

- **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\
 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 182
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

- **Waktu Operasi**

$$\begin{aligned} \text{top}_{(2)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= \frac{80 \times 0,059}{\left[\left(\frac{678}{182} \right)^2 - 1 \right]} \\ &= 0,36 \text{ s} \end{aligned}$$

- **Rele 13 (reverse)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
Kurva Type	: IEC <i>Extremely Inverse</i>
Isc max <i>backup</i>	: 380 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 200/1

- **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned} 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\ 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\ 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\ \text{Dipilih } I_{pp} &= 182 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

- **Time Dial Setting**

$$\begin{aligned} \text{top}_{(2)} &= 0,36 \text{ s} + 0,2 \text{ s} \\ &= 0,56 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{top}_{(2)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ 0,56 &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{380}{182} \right)^2 - 1 \right]} \end{aligned}$$

$$\text{TDS}_{(2)} = 0,024$$

❑ **Rele 13 (reverse)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
<i>Kurva Type</i>	: <i>IEC Extremely Inverse</i>
Isc max utama	: 951 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 200/1

• **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\
 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48 \\
 \text{Dipilih } I_{pp} &= 182
 \end{aligned}$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

• **Waktu Operasi**

$$\begin{aligned}
 t_{op(2)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \max}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\
 &= \frac{80 \times 0,024}{\left[\left(\frac{951}{182} \right)^2 - 1 \right]} \\
 &= 0,07 \text{ s}
 \end{aligned}$$

❑ **Rele 7 (reverse)**

Manufacturer	: ALSTOM
Model	: P343
<i>Kurva Type</i>	: <i>IEC Extremely Inverse</i>
Isc max <i>backup</i>	: 620 A
FLA	: 173,2 A
CT ratio	: 100/1

• **Low Set Current Setting**

$$\begin{aligned}
 1,05 \times \text{FLA} &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times \text{FLA} \\
 1,05 \times 173,2 &\leq I_{pp} \leq 1,4 \times 173,2 \\
 181,86 &\leq I_{pp} \leq 242,48
 \end{aligned}$$

$$\text{Dipilih } I_{pp} = 182$$

$$\text{Tap} = \frac{I_{pp}}{CT \text{ Primary}} = \frac{182}{200} = 0,91$$

- **Time Dial Setting**

$$\begin{aligned} \text{top}_{(2)} &= 0,07 \text{ s} + 0,2 \text{ s} \\ &= 0,27 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{top}_{(2)} &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{I_{sc \text{ max}}}{I_{pp}} \right)^2 - 1 \right]} \\ 0,27 &= \frac{80 \times \text{TDS}}{\left[\left(\frac{620}{182} \right)^2 - 1 \right]} \end{aligned}$$

$$\text{TDS}_{(2)} = 0,035$$

Iterasi pada *loop* III dilakukan sampai nilai $\text{TDS}_{(n)} = \text{TDS}_{(n-1)}$ untuk setiap rele yang dihitung pada posisi *reverse*. Dalam hal ini *error* dari nilai TDS setiap rele mendekati nol.

Nilai TDS setiap rele akan diambil nilai TDS konvergensi yang terbesar dari perhitungan *loop* I , *loop* II , dan *loop* III. Nilai TDS dan waktu operasi hasil perhitungan manual dengan DG dan tanpa DG setiap rele dapat dilihat pada Tabel 4.15 dan Tabel 4.16.

Tabel 4.15 Nilai Hasil Perhitungan Manual dengan DG

Rele	TDS Manual	Waktu Operasi Manual
1	0,041	0,052
2	0,138	0,797
3	0,119	0,492
4	0,025	0,013
5	0,115	0,098
6	0,095	0,665
7	0,093	0,391
8	0,134	0,831
9	0,152	0,115

Rele	TDS Manual	Waktu Operasi Manual
10	0,062	0,026
11	0,058	0,154
12	0,097	0,683
13	0,060	0,183
14	0,096	0,523

Tabel 4.16 Nilai Hasil Perhitungan Manual tanpa DG

Rele	TDS Manual	Waktu Operasi Manual
1	0,034	0,046
2	0,111	0,788
3	0,058	0,358
4	0,043	0,021
5	0,116	0,104
6	0,088	0,665
7	0,085	0,391
8	0,125	0,827
9	0,154	0,121
10	0,078	0,033
11	0,020	0,074
12	0,076	0,655
13	0,052	0,175
14	0,088	0,526

4.4 Koordinasi Proteksi pada Sistem Distribusi Mesh Menggunakan Algoritma MAPSO

Data-data yang digunakan pada proses optimasi koordinasi proteksi DOCR pada sistem distribusi mesh dengan DG menggunakan algoritma MAPSO adalah sebagai berikut:

1. Pasangan rele utama dan rele *backup*
[1 2 ; 2 3 ; 3 4 ; 4 5 ; 5 6 ; 5 7 ; 6 1 ; 7 2 ; 8 13 ; 9 8 ; 9 14 ; 10 9 ; 11 10 ; 12 11 ; 13 12 ; 14 12]
2. Rele *forward*
[1; 2; 3; 4; 5; 6; 7]

3. Rele *reverse*
[8; 9; 10; 11; 12 ;13 ;14]
4. Arus hubung singkat maksimum rele primer
[1490 700 410 1160 1770 641 813 678 1880 1260 506 640 951
719]
5. Arus hubung singkat maksimum rele *backup*
[344 633 254 154 727 510 620 612 822 250 195 512 380 622]
6. Arus beban penuh (*Full Load Ampere*)
[173,2 173,2 86,6 86,6 173,2 173,2 173,2 173,2 86,6
86,6 173,2 173,2 173,2]

Pada program simulasi ditentukan nilai – nilai dari parameter MAPSO adalah sebagai berikut :

1. Maksimum Iterasi = 100
2. Ukuran populasi = 500
3. W_{max} = 0,9
4. W_{min} = 0,4

Fitness yang digunakan pada program algoritma MAPSO adalah total operasi semua rele. Kondisi yang berlaku pada *fitness* tersebut adalah jika total waktu operasi semua rele pada iterasi ke- n lebih kecil dari total waktu operasi semua rele pada iterasi ke – (n-1) maka *fitness* dan beberapa parameter diubah sesuai dengan *fitness* pada iterasi ke – n.

4.5 Hasil dan Analisa Simulasi Koordinasi Proteksi pada Sistem Mesh dengan Menggunakan Algoritma MAPSO

Hasil simulasi MATLAB R2014b dari optimasi koordinasi proteksi DOCR dengan DG menggunakan algoritma MAPSO dan perhitungan manual dapat dilihat pada Tabel 4.17

Tabel 4.17 Hasil perhitungan manual dan algoritma MAPSO

Rele	TDS MAPSO	TDS Manual	Waktu Operasi MAPSO	Waktu Operasi Manual
1	0,086	0,041	0,104	0,050
2	0,084	0,138	0,487	0,797
3	0,090	0,119	0,372	0,492
4	0,089	0,025	0,044	0,013
5	0,063	0,115	0,053	0,098
6	0,054	0,095	0,377	0,665
7	0,087	0,093	0,368	0,391
8	0,090	0,134	0,558	0,831
9	0,089	0,152	0,067	0,115
10	0,079	0,062	0,033	0,026
11	0,074	0,058	0,197	0,154
12	0,058	0,097	0,409	0,683
13	0,076	0,060	0,231	0,183
14	0,068	0,096	0,373	0,523
Total	1,087	1,285	3,673	5,021

Dari Tabel 4.17 dapat dilihat bahwa total waktu operasi hasil optimasi menggunakan algoritma MAPSO lebih cepat dibandingkan dengan total waktu operasi dengan perhitungan manual. Total nilai TDS dari algoritma MAPSO juga lebih kecil dibandingkan dengan total nilai TDS dari perhitungan manual.

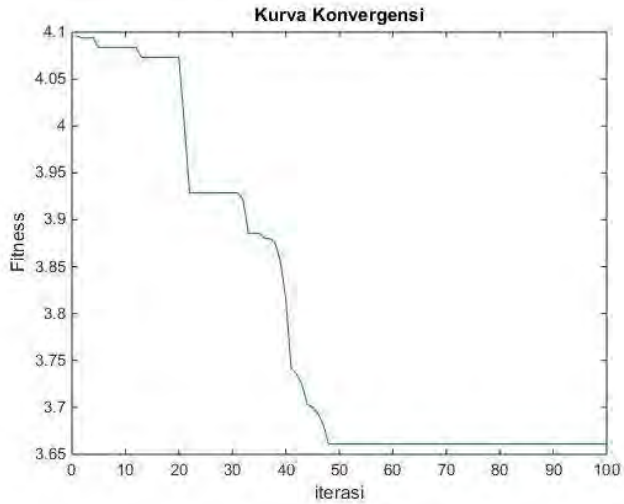
Nilai margin antara rele primer dan rele *backup* serta waktu operasi rele primer yang didapatkan dari hasil optimasi algoritma MAPSO koordinasi proteksi dengan DG dapat dilihat pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Waktu Operasi Rele menggunakan MAPSO

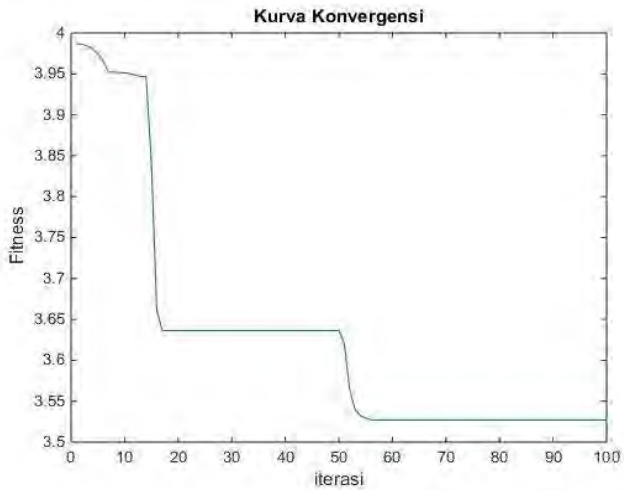
No	Rele Primer	Rele <i>Backup</i>	t_{primer}	t_{backup}	CTI
1	1	2	0,1038	0,6238	0,5200
2	2	3	0,4878	1,0838	0,5960
3	3	4	0,3724	0,8594	0,4870
4	4	5	0,0445	0,3755	0,3310
5	5	6	0,0533	0,6513	0,5980
6	5	7	0,0533	0,6793	0,6260
7	6	1	0,3774	1,2004	0,8230
8	7	2	0,3686	1,0086	0,6400
9	8	13	0,5586	1,8686	1,3100
10	9	8	0,0674	0,6774	0,6100
11	9	14	0,0674	0,5254	0,4580
12	10	9	0,0332	0,3782	0,3450
13	11	10	0,1972	0,9992	0,8020
14	12	11	0,4090	1,7090	1,3000
15	13	12	0,2309	0,6899	0,4590
16	14	12	0,373	0,9250	0,5520

Dari Tabel 4.18 dapat dilihat bahwa nilai waktu operasi rele primer telah memenuhi *constraint* yang telah ditentukan, yaitu $t_{\text{primer}} < 1$ s. Selain itu, nilai CTI (*Coordination Time Interval*) dari waktu operasi rele primer dan rele *backup* sesuai dengan *constraint* $CTI \geq 0,2$. Adapun waktu rele primer yang bekerja di bawah 0,1 s disebabkan oleh *rating* FLA yang melewati rele tersebut jauh lebih kecil dari besarnya arus gangguan maksimum yang melewati rele tersebut sehingga *setting* arus pada rele tersebut juga kecil.

Dalam melakukan suatu proses optimasi menggunakan algoritma diperlukan kurva konvergensi. Hal ini dilakukan untuk mengetahui iterasi yang dibutuhkan oleh suatu algoritma untuk mengoptimalkan suatu parameter. Kurva konvergensi algoritma MAPSO untuk koordinasi proteksi dengan DG dan tanpa DG dapat dilihat pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5.

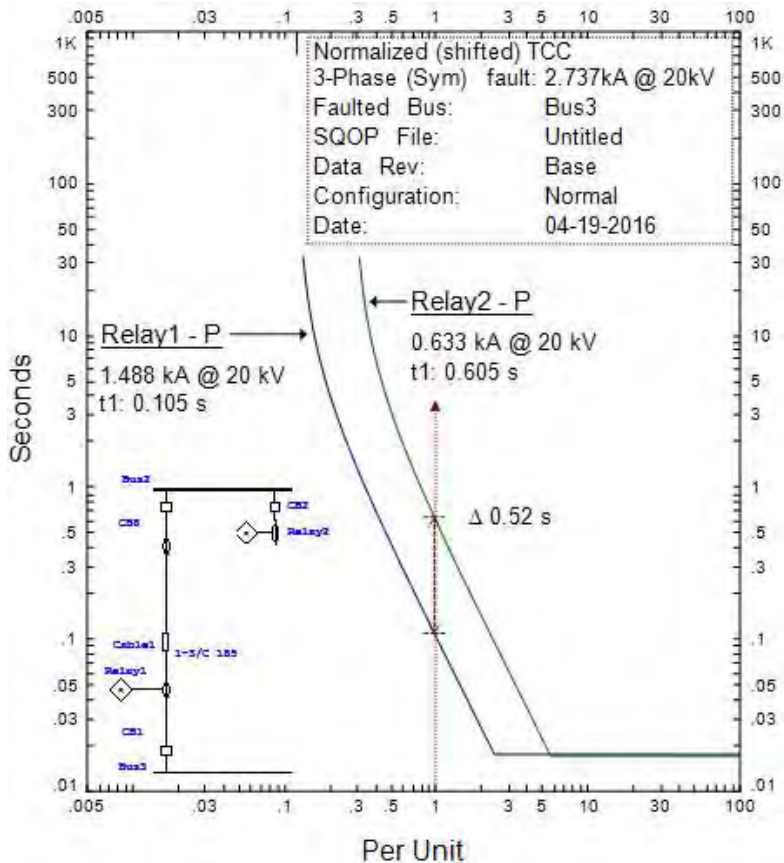


Gambar 4.4 Kurva Konvergensi Algoritma MAPSO dengan DG

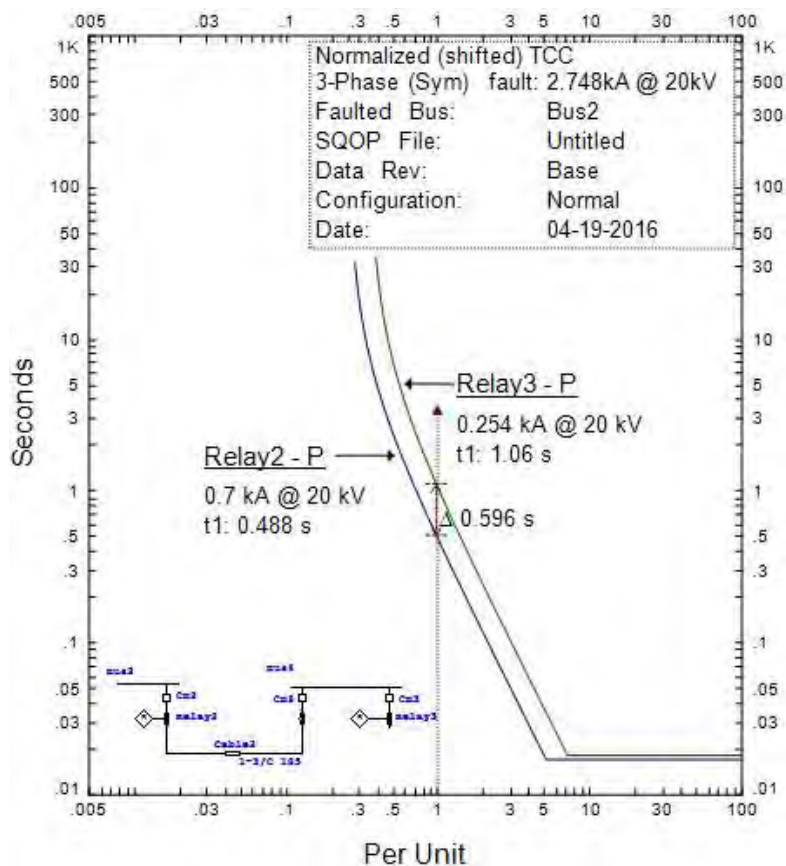


Gambar 4.5 Kurva Konvergensi Algoritma MAPSO tanpa DG

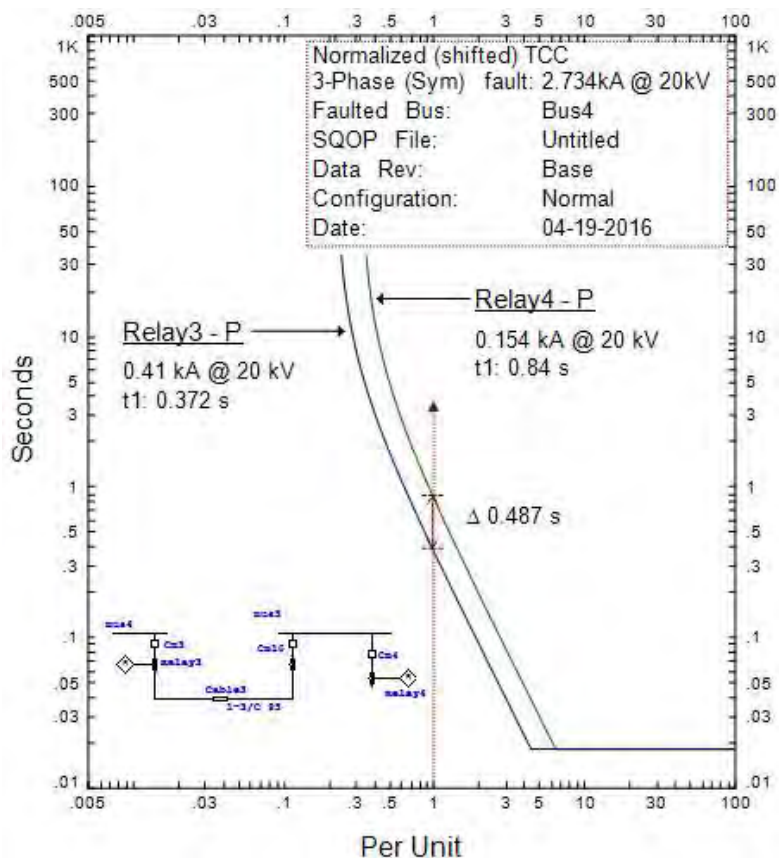
Dalam tugas akhir ini diplot juga kurva TCC (*Time Current Curve*) hasil optimasi algoritma MAPSO ke dalam *software* ETAP 12.6.0, Plot kurva TCC masing – masing pasangan rele adalah sebagai berikut :



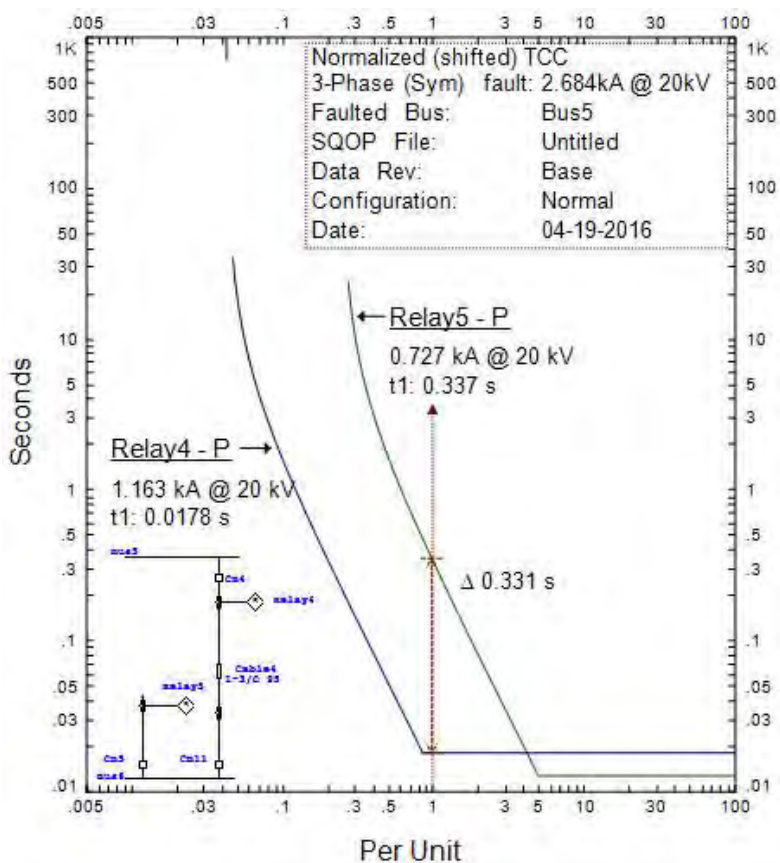
Gambar 4.6 Plot Kurva TCC Rele 1 dan Rele 2



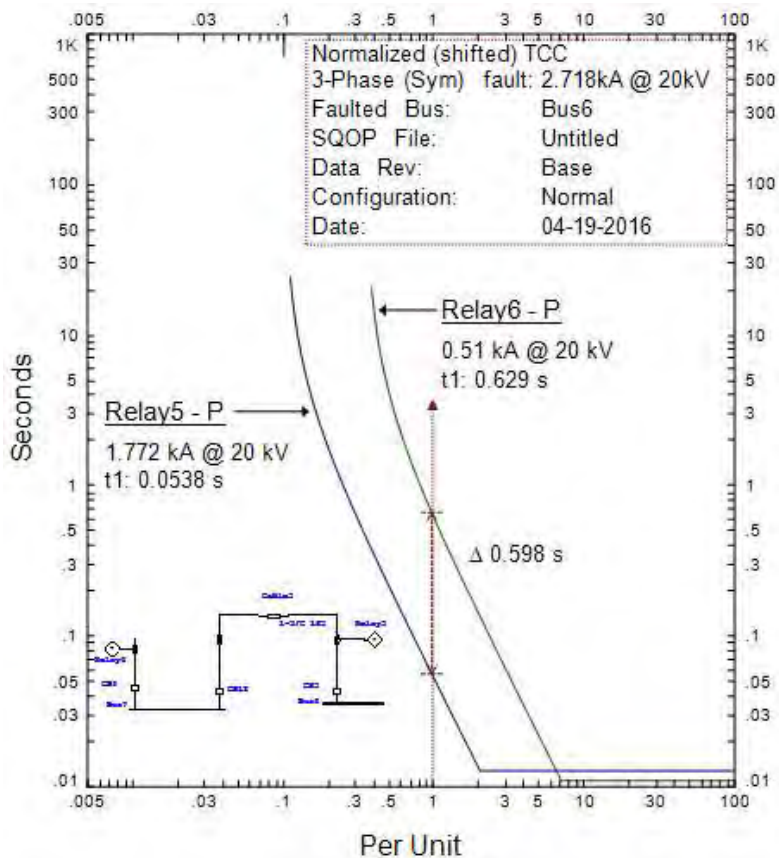
Gambar 4.7 Plot Kurva TCC Rele 2 dan Rele 3



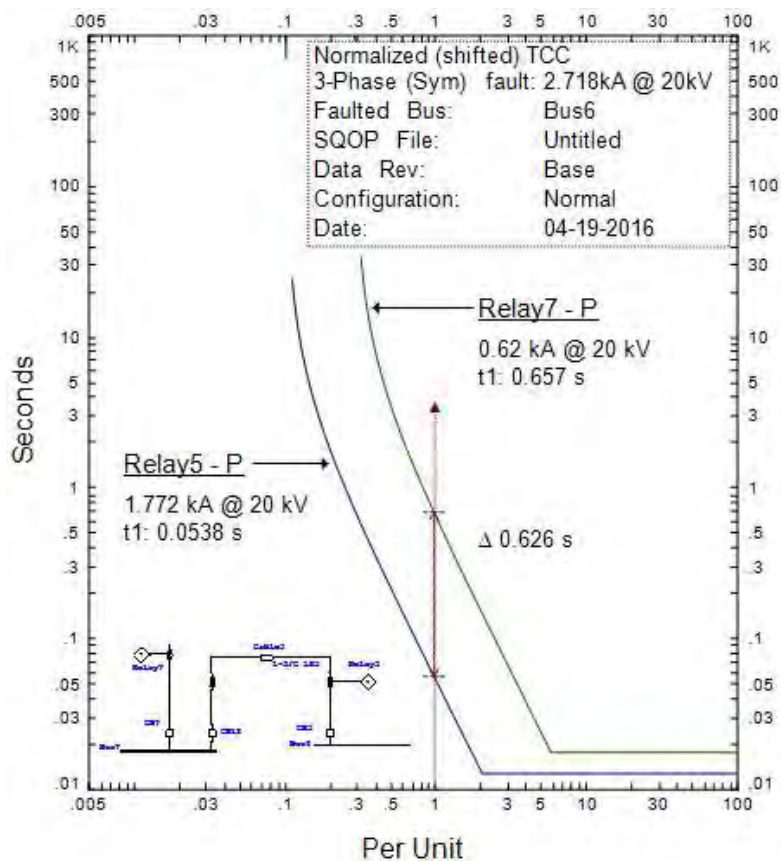
Gambar 4.8 Plot Kurva TCC Rele 3 dan Rele 4



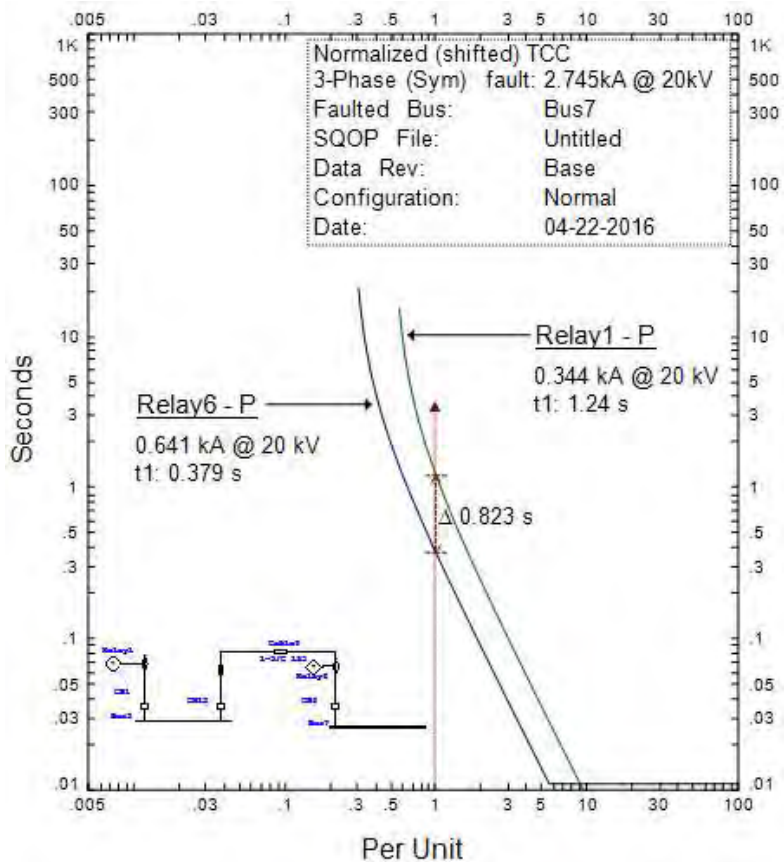
Gambar 4.9 Plot Kurva TCC Rele 4 dan Rele 5



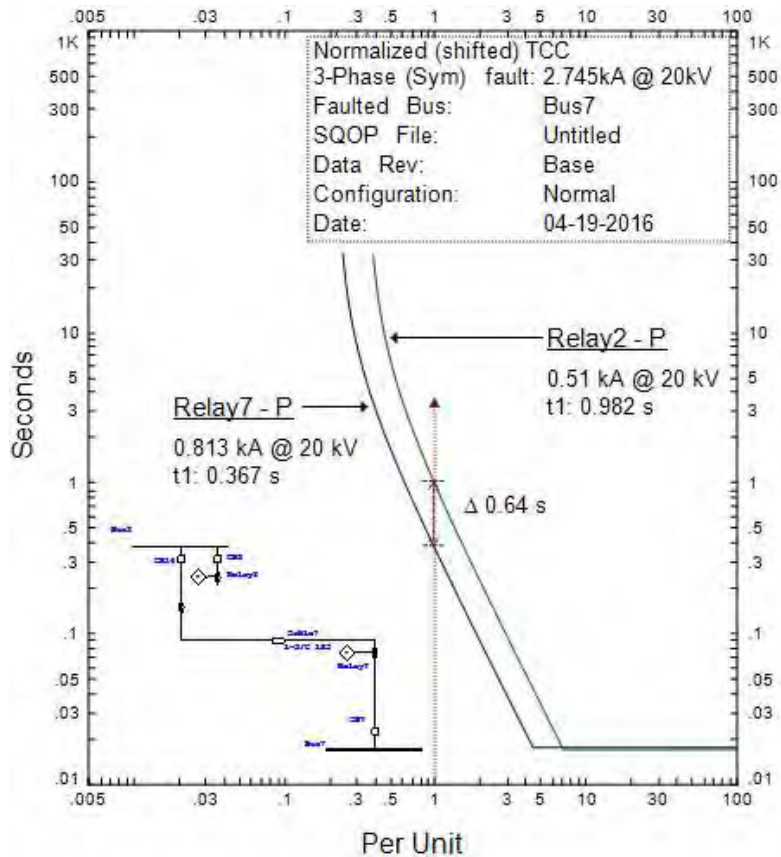
Gambar 4.10 Plot Kurva TCC Rele 5 dan Rele 6



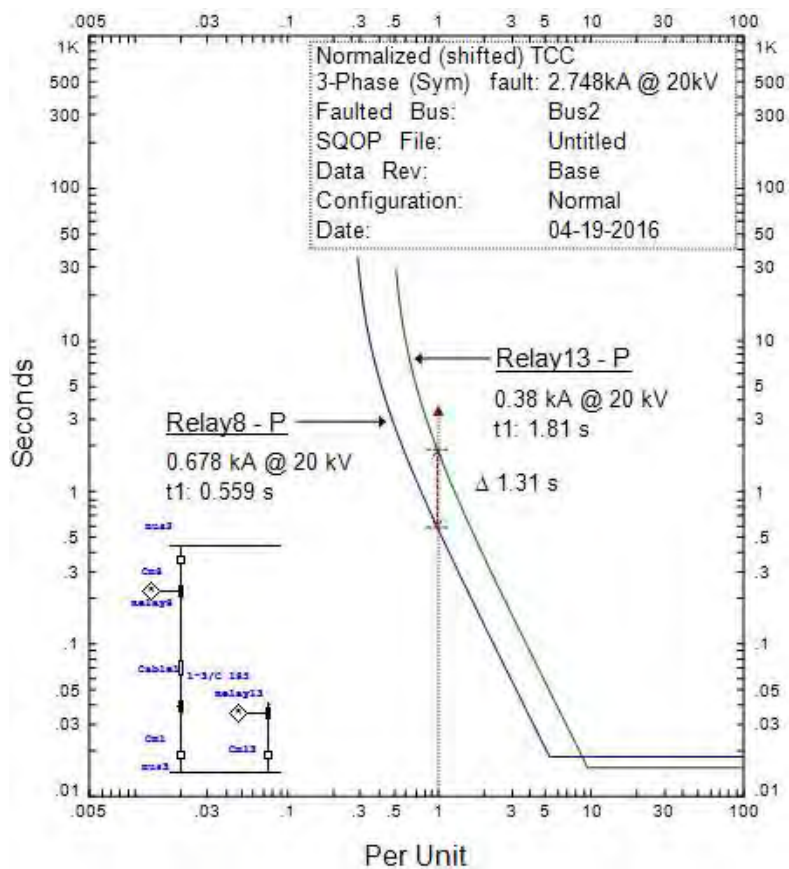
Gambar 4.11 Plot Kurva TCC Rele 5 dan Rele 7



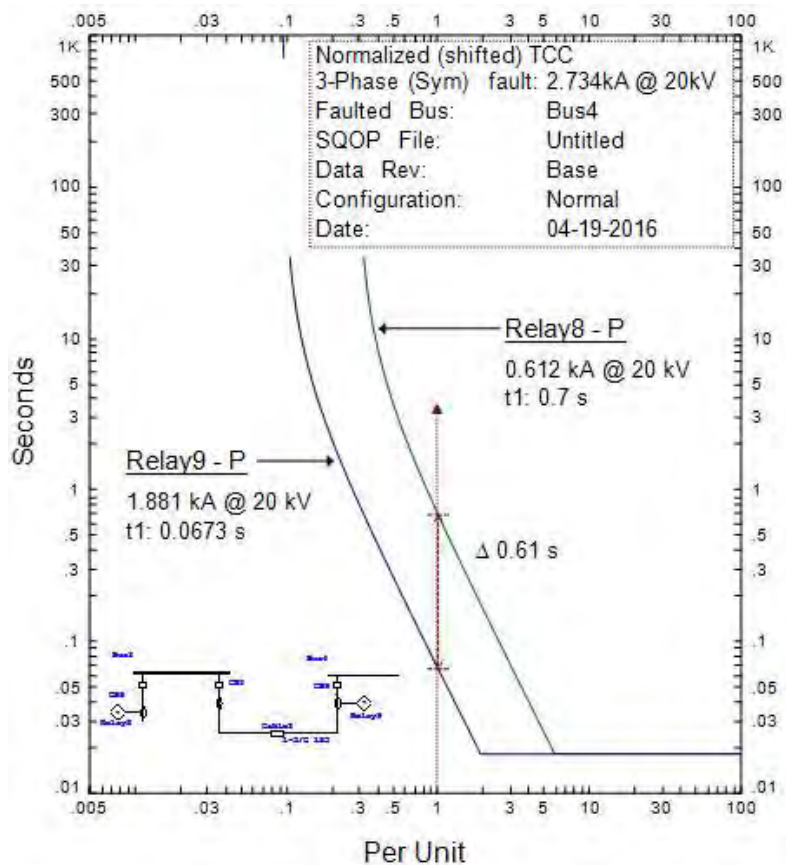
Gambar 4.12 Plot Kurva TCC Rele 6 dan Rele 1



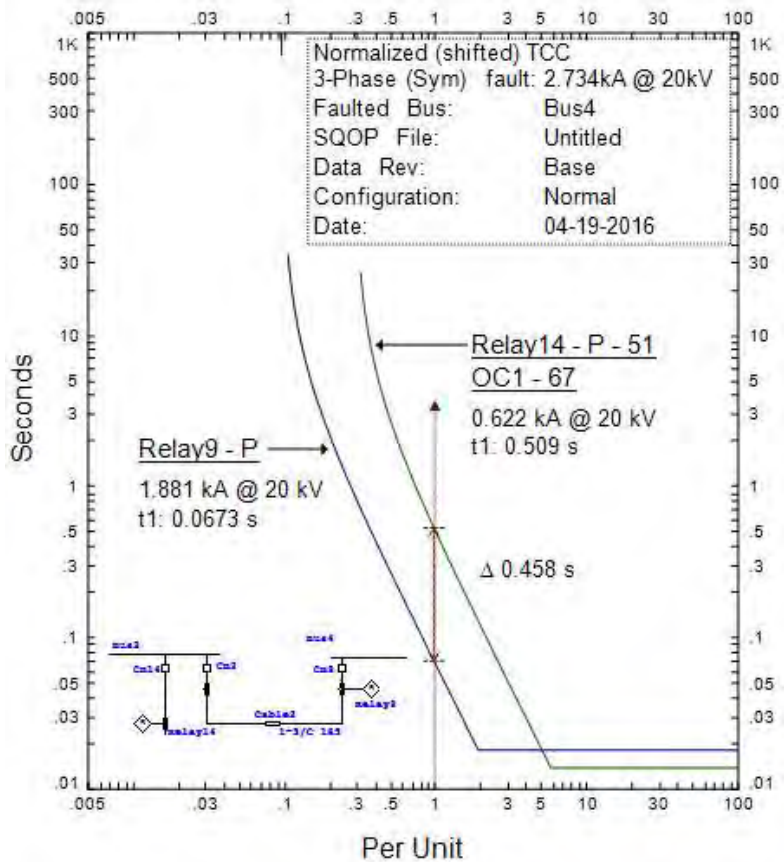
Gambar 4.13 Plot Kurva TCC Rele7 dan Rele 2



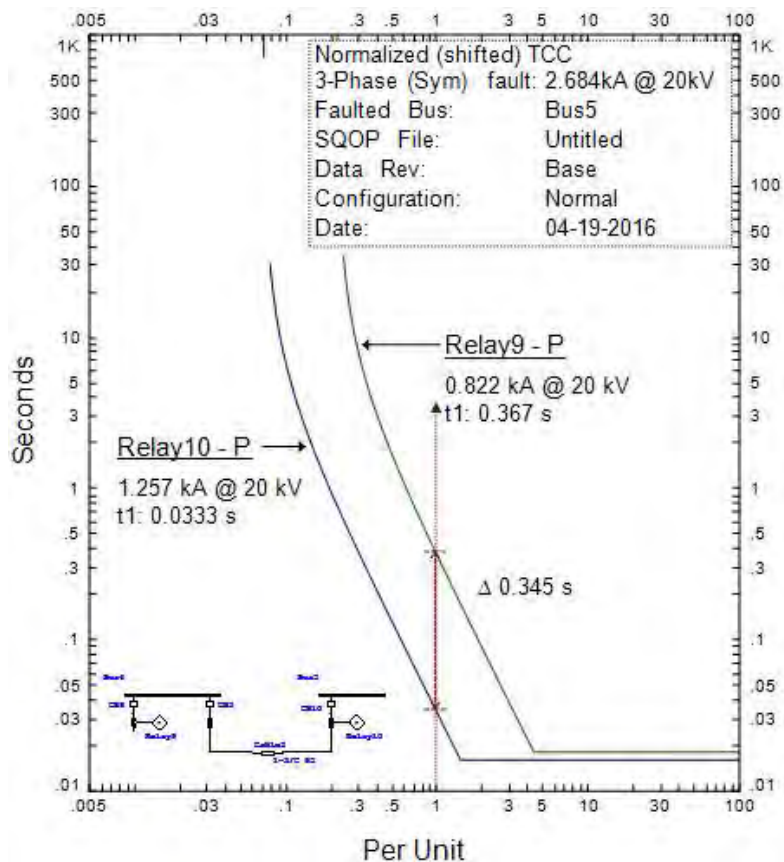
Gambar 4.14 Plot Kurva TCC Rele 8 dan Rele 13



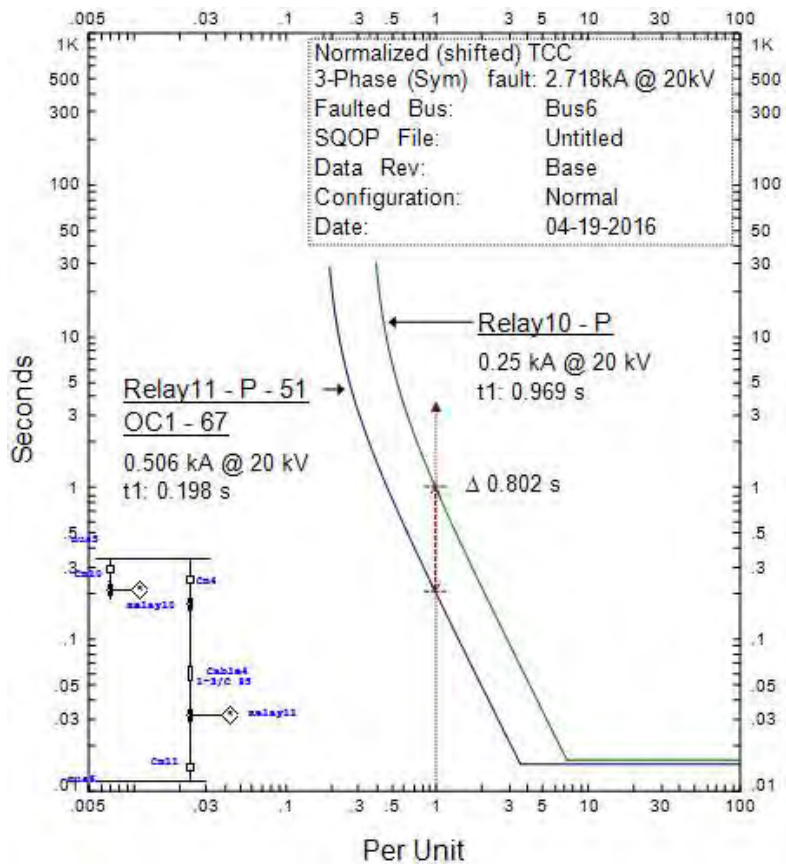
Gambar 4.15 Plot Kurva TCC Rele 9 dan Rele 8



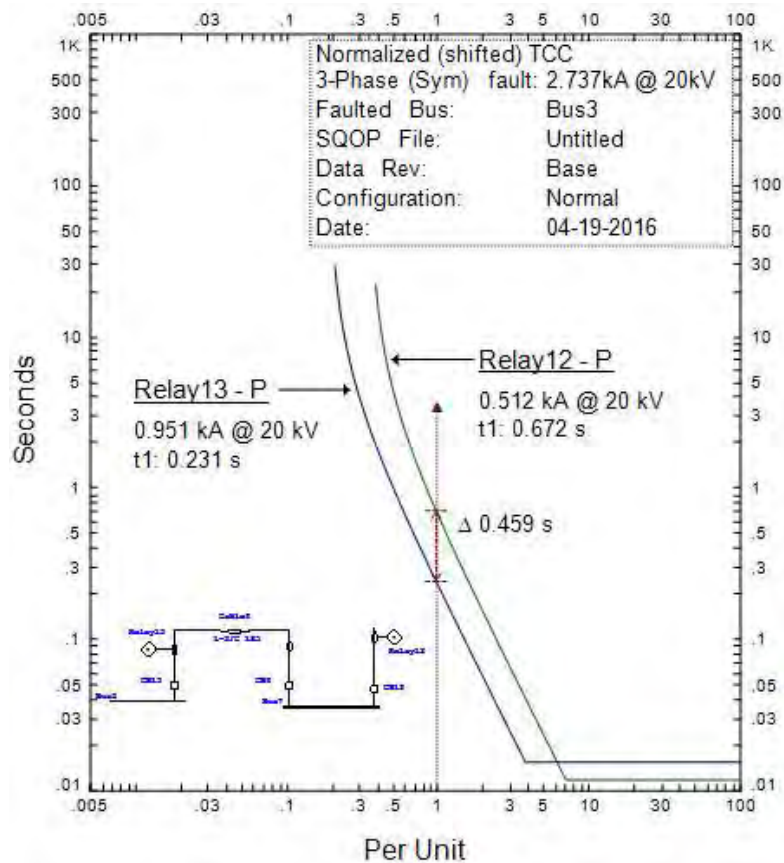
Gambar 4.16 Plot Kurva TCC Rele 9 dan Rele 14



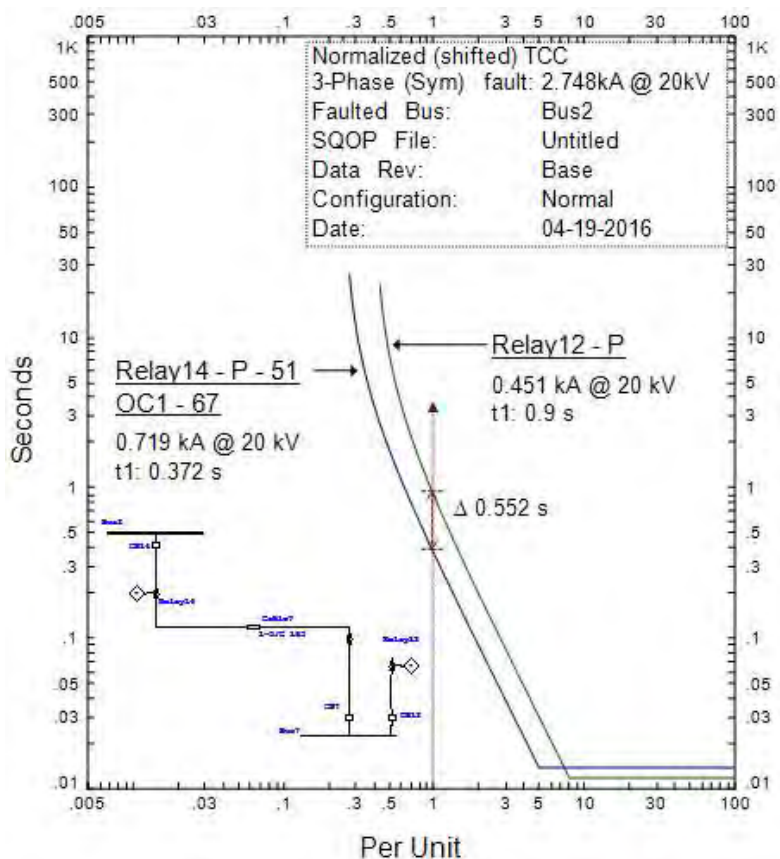
Gambar 4.17 Plot Kurva TCC Rele 10 dan Rele 9



Gambar 4.18 Plot Kurva TCC Rele 11 dan Rele 10



Gambar 4.20 Plot Kurva TCC Rele 13 dan Rele 12



Gambar 4. 21 Plot Kurva TCC Rele 14 dan Rele 12

~ Halaman ini sengaja dikosongkan ~

LAMPIRAN

1. *List program*

```
clc
clear
close all
error_rate = 1;
DG=input('KONDISI DG (ON=1/OFF=0)?');
% Nilai Iscmax dan Iscmin pada kondisi DG = On dan DG = Off
if DG== 1
FLA_relay = [173,2 173,2 86,6 86,6 173,2 173,2 173,2 173,2
173,2 86,6 86,6 173,2 173,2 173,2];
Iscmax_primer = [1490 700 410 1160 1770 641 813 678 1880
1260 506 640 951 719]; %Data Iscmax 0,5 cycle
Iscmax_backup = [344 633 254 154 727 510 620 612 822 250 195
512 380 622]; %Data Iscmax 0,5 cycle
CT = [200 200 100 100 200 200 200 200 200 100 100 200 200
200];

elseif DG == 0
FLA_relay = [173,2 173,2 86,6 86,6 173,2 173,2 173,2 173,2
173,2 86,6 86,6 173,2 173,2 173,2];
Iscmax_primer = [1420 636 341 1160 1730 619 780 658 1840
1260 436 583 908 690]; %Data Iscmax 0,5 cycle
Iscmax_backup = [322 573 190 195 727 493 594 595 822 291 138
460 361 597]; %Data Iscmax 0,5 cycle
CT = [200 200 100 100 200 200 200 200 200 100 100 200 200
200];
End

rele_main_backup = [1 2; 2 3; 3 4; 4 5; 5 6; 5 7; 6 1;7 2; 8
13; 9 8; 9 14; 10 9; 11 10;12 11; 13 12; 14 12];
forward_rele = [1;2;3;4;5;6;7];
reverse_rele = [8;9;10;11;12;13;14];
upbnd_TDS = input('BATAS ATAS NILAI TDS?');
lwbnd_TDS = input('BATAS BAWAH NILAI TDS?');
size_rele = size(FLA_relay);
total_rele = size_rele(2);
forward_size = size(forward_rele);
reverse_size = size(reverse_rele);
size_forward_rele = forward_size(1);
size_reverse_rele = reverse_size(1);
best = inf;
dt_run = [];
mr_best = [];
miscoord = [];
pen_ub_best = [];
pen_lb_best = [];
main_t_best = [];
```

```

good_ub          = 0;
good_lb          = 0;
good_dt_lb_ub    = 0;
good_dt          = 0;
alpha_1          = 1;
alpha_2          = 2;
%=====MULAI ALGORITMA MAPSO=====
%=====
while (error_rate == 1);
%1. Parameter MAPSO

N                = 500;
dim              = 1;
wmax             = 0,9;
wmin             = 0,4;
c1_initial       = 2;
c1_final         = 1;
c2_initial       = 1;
c2_final         = 2;
r1              = rand;
r2              = rand;
r3              = rand;
R_initial        = 1;
R_final          = 0,1;
maxit            = 100;
main_rele        = size(rele_main_backup);
main_backup_pair = main_rele(1);
CTI              = 0,2;

%2. Initializing PSO
for i=1:N
    for j=1:total_rele;
        xTDS(i,j) = rand*(upbnd_TDS-lwbnd_TDS) +
                    lwbnd_TDS;
    end
end
for i=1:total_rele
    xIp(i,:) = 1.05*FLA_relay(1,i);
end
PbestTDS = xTDS;
PnotbestTDS = xTDS;
for j=1:total_rele
    [nilaimin_TDS_awal(1,j),posisimin_TDS_awal(1,j)]
    = min(xTDS(:,j));
end
for i=1:total_rele
    GbestTDS(1,i) = nilaimin_TDS_awal(1,i) ;
end

%===== Objective Function =====

```

```

for i=1:total_rele
    time_operation_awal(i,:) =
80*GbestTDS(1,i)/(((Iscmax_primer(1,i)/xIp(i,1))^2) -1);
end
fitness_awal = 6.4;
%=====PSO - Begin here=====
for it = 1:maxit
    c1 = (c1_final-c1_initial)*(it/maxit)+c1_initial;
    c2 = (c2_final-c2_initial)*(it/maxit)+c2_initial;
    R = R_initial + ((R_final-R_initial)*(it/maxit));
    for j=1:total_rele
        [nilaimin_TDS(1,j),posisimin_TDS(1,j)]=min(xTDS(:,j));
    end
    for i=1:N
        for j=1:total_rele
            vTDS(i,j) = R*(upbnd_TDS-lwbnd_TDS);
        end
    end
end
%3. PSO program
w = wmax-((wmax-wmin)/maxit)*it ;
for i = 1:total_rele
    for q = 1:N
        vTDS(q,i) = w.*vTDS(q,i) +
            (c1*r1*(PbestTDS(q,i) - xTDS(q,i))) +
            (c1*r2*(xTDS(q,i)-PnotbestTDS(q,i))) +
            (c2*r3*(GbestTDS(1,i) - xTDS(q,i)));
        if vTDS(q,i) <= R*(upbnd_TDS-lwbnd_TDS);
            vTDS(q,i) = vTDS(q,i);
        else
            vTDS(q,i) = R*(upbnd_TDS-lwbnd_TDS);
        end
        xTDS(q,i) = xTDS(q,i) + vTDS(q,i);
        if xTDS(q,i) < lwbnd_TDS
            xTDS(q,i) = xTDS(q,i) - vTDS(q,i);
        end
        if xTDS(q,i) > upbnd_TDS
            xTDS(q,i) = xTDS(q,i) - vTDS(q,i) ;
        end
    end
end
%=====Setting Relay=====
for i=1:N
    for j=1:main_backup_pair
        main_t_best(i,j) = main_t_best(i,j) =
80*xTDS(i,rele_main_backup(j,1))/(((Iscmax_primer(1,
rele_main_backup(j,1))/xIp(rele_main_backup(j,1),1))
^2) -1);
        backup_t_best(i,j) =
80*xTDS(i,rele_main_backup(j,2))/(((Iscmax_backup(1,rele_mai
n_backup(j,2))/xIp(rele_main_backup(j,2),1))^2) -1);
    end
end

```

```

    end
end
%===== Constraint CTI =====%
dt_best = backup_t_best - main_t_best- CTI;
main_time_forward = zeros(N,8);
main_time_reverse = zeros(N,8);
GbestTDS_best = zeros(1,14);
for i=1:N
    for j=1:8
        if (dt_best(i,j)>=0)&&(main_t_best(i,j)<0,6)
            main_time_forward(i,j) = 1;
        else
            main_time_forward(i,j) = 0;
        end
    end
end
sum_forward = sum(main_time_forward,2);
for k=1:8
    if sum_forward(k,:) == 8
        for i=1:7
            GbestTDS_best(1,i) = xTDS(k,i);
        end
    end
end
for i=1:N
    for j=1:8
        if (dt_best(i,j+8)>=0)&&(main_t_best(i,j+8)<0,6)
            main_time_reverse(i,j) = 1;
        else
            main_time_reverse(i,j) = 0;
        end
    end
end
sum_reverse = sum(main_time_reverse,2);
for k=1:8
    if sum_reverse(k,:) == 8
        for i=8:14
            GbestTDS_best(1,i) = xTDS(k,i);
        end
    end
end

for i=1:total_rele
    time_operation_akhir(i,:) =
    80*GbestTDS_best(1,i)/(((Iscmax_primer(1,i)/xIp(i,1))^2 -1));
end
%===== Minimize t main operating time =====%
fitness(it,1) = sum(time_operation_akhir,1);
if (it==1)&&(fitness(it,1)==0)
    fitness(1,1) = fitness_awal;
end

```

```

end
if (it>1)&&(fitness(it,1)==0)
    fitness(it,1) = fitness((it-1),1);
end
if (fitness(it,1)<fitness_awal)
    fitness_awal = fitness(it,1);
    PbestTDS = xTDS;
    for i=1:14
        GbestTDS_best_ever(1,i) = GbestTDS_best(1,i);
    end
end
if (it>1)&&(fitness(it,1)>fitness_awal)
    PnotbestTDS = xTDS;
    fitness(it,1) = fitness((it-1),1);
end
record_fitness(it,1)=fitness(it,1);
end

%===== Perhitungan laju error MAPSO =====%
error_matrix = zeros(1,14);
for i=1:14
    if GbestTDS_best_ever(1,i) ==0
        error_matrix(1,i) = 1;
    else
        error_matrix(1,i) = 0;
    end
end
if sum(error_matrix,2)==0
    error_rate = 0;
else
    error_rate = 1;
end
end

for j=1:main_backup_pair
    main_time_best(j,:) =
        80*GbestTDS_best_ever(1,rele_main_backup(j,1))/(((Iscmax
        _primer(1,rele_main_backup(j,1))/xIp(rele_main_backup(j,
        1),1))^2-1);
    backup_time_best(j,:) =
        80*GbestTDS_best_ever(1,rele_main_backup(j,2))/(((Iscmax
        _backup(1,rele_main_backup(j,2))/xIp(rele_main_backup(j,
        2),1))^2 -1);
end
CTI_best = backup_time_best-main_time_best;
for i=1:total_rele
    tap(i,:) = xIp(i,:)/CT(1,i);
end
for j=1:total_rele

```

```

        time_operation(j,:) =
80*(GbestTDS_best_ever(1,j)/(((Iscmax_primer(1,j)/xIp(j,1))^2
)-1);
%=====RESULTS=====

disp('                                LOWSET CURRENT SETTING (I>)
');
disp('=====
=====');
disp('          | Relay No. |   Ipu   |   Tap   |   CT
| ' ');
disp('-----
-----');
for m = 1:total_rele
    fprintf('    %14.3g', m);
    fprintf('    %14.4f', xIp(m,1));
    fprintf('    %8.2f', tap(m));
    fprintf('    %10.6g', CT(m));
    fprintf('\n');
end
fprintf('\n');
fprintf('\n');
disp('=====
=====');
disp('                                TIME DIAL                                ');
disp('=====
=====');
disp('          | Relay No. |   TDS   |   WAKTU OPERASI   |
');
disp('-----
-----');
for m = 1:total_rele
    fprintf('    %13.3g', m);
    fprintf('    %13.4f', GbestTDS_best_ever(1,m));
    fprintf('    %10.4f', time_operation(m));
    fprintf('\n');
end
fprintf('\n');
fprintf('\n');
disp('=====
=====');
disp('                                MARGIN TIME RELAY UTAMA-BACKUP
');
disp('=====
=====');
disp('          | No. |   RELAY   |   MARGIN TIME |
PRIMER |   BACKUP   | ');
disp('          |   | Primer | BACKUP |
| ');

```

```

disp('-----');
disp('-----');

for n=1: size(rele_main_backup,1)
    fprintf(' %13.3g', n);
    fprintf(' %5.f', rele_main_backup(n,1));
    fprintf(' %7.f', rele_main_backup(n,2));
    fprintf(' %14.4f', CTI_best(n));
    fprintf(' %8.4f', main_time_best(n));
    fprintf(' %10.4f', backup_time_best(n));
    fprintf('\n');
end
figure,plot(record_fitness)
title('Kurva Konvergensi')
xlabel('iterasi')
ylabel('Fitness')

```


~Halaman ini sengaja dikosongkan~

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa koordinasi *Directional Over Current Relay* menggunakan MAPSO dengan DG yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. *Directional Over Current Relay* dapat digunakan sebagai rele arus lebih dengan arah yang dapat ditentukan berdasarkan keadaan *forward* atau *reverse*.
2. DG yang terhubung pada sistem distribusi mesh menyebabkan adanya penambahan arus hubung singkat maksimum yang terbaca pada beberapa rele.
3. Nilai total TDS optimasi algoritma MAPSO relatif lebih kecil dibandingkan perhitungan manual
4. Nilai rata-rata waktu operasi rele primer menggunakan MAPSO adalah sebesar 0,262 detik
5. Tingkat konvergensi algoritma MAPSO terhitung cepat karena dari hasil percobaan, rata-rata *fitness* akan konvergen pada iterasi ke-50.
6. Urutan *tripping* rele koordinasi proteksi pada sistem distribusi dengan DG dan tanpa DG adalah sama

5.2 Saran

Dari hasil kesimpulan serta analisa yang telah dilakukan, maka penulis memberikan saran sebagai berikut :

1. Diperlukan studi kasus pada *plant* yang nyata.
2. Untuk mendapatkan nilai CTI yang lebih cepat diperlukan metode baru untuk memperbaiki MAPSO dalam proses optimasi.
3. Untuk meningkatkan konvergensi diperlukan batasan – batasan parameter algoritma dari beberapa referensi baru.
4. Untuk penelitian selanjutnya, program koordinasi DOCR ini dapat dilengkapi dengan perhitungan aliran daya dan hubung singkat sehingga data-data tidak perlu diambil dari *software* ETAP.

~ Halaman ini sengaja dikosongkan ~

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zahra Moravej, Mostafa Jazaeri, dan Mehdi Gholamzadeh, "*Optimal coordination of distance and over-current relays in series compensated systems based on MAPSO*", Energy Conversion and Management, 56 (2012) 140 – 151
- [2] V.V.S.N Murty dan Ashwani Kumar, "*Mesh distribution system analysis in presence of distributed generator with time varying load model*", Electrical Power and Energy Systems 62 (2014)
- [3] H. B. Elrafie, M.R. Irving, "*Linear programming for directional overcurrent relay coordination in interconnected power systems with constraint relaxation*", Electric Power Systems Research, 27 (1993) 209-216
- [4] Wahyudi, "*Diktat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik*", Teknik Elektro ITS, Surabaya, Bab 2, 2004
- [5] Phadke, Arun G, dan Thorp, James S, "*Computer Relaying for Power System*", John Wiley and Sons, Ltd., England, Ch.2, 2009
- [6] Prévé, Christophe, "*Protection of Electrical Networks*", ISTE Ltd., London, Ch. 7 , 9 , 2006
- [7] Cahier Technique No.158, "*Calculation of Short-circuit Currents*", Schneider Electric, 2005
- [8] Thomas Ackerman, Goran Andersson, dan Lennart Soder, "*Distributed Generator: a definition*", Electric Power Systems Research 57, Elsevier, 2001, pp.195-204
- [9] Mohamed M.Mansour, Said F. Mekhamer, dan Nehad El-sherif El-Kharbawe, "*A Modified Particle Swarm Optimizer for the Coordination of Directional Overcurrent Relays*", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.22, No.3, July 2007

- [10] Nima Amjady dan Hassan Rezai Soleymanpour, “*Daily Hydrothermal Generator Scheduling by a new Modified Adaptive Particle Swarm Optimization technique*” , Electric Power Systems Research 80 (2010) 723-732

RIWAYAT HIDUP



Aditya Descara Putra lahir di Jakarta pada tanggal 02 Januari 1994. Penulis mengawali pendidikan sekolah dasar di SD Tunas Jaka Sampurna Bekasi selama 6 tahun, kemudian penulis melanjutkan pendidikan sekolah menengah pertama di SMP Santa Lusia Bekasi pada tahun 2005 selama 3 tahun , setelah itu penulis melanjutkan pendidikan formal sekolah menengah atas di SMAN5 Bekasi pada tahun 2008 selama 3 tahun. Setelah lulus dari pendidikan SMA pada tahun 2011 , penulis melanjutkan pendidikan kuliah jenjang S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Jurusan

Teknik Elektro, Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga. Semasa perkuliahan penulis aktif di berbagai organisasi luar kampus dan dalam kampus. Penulis juga aktif menjadi asisten di Laboratorium Instrumentasi Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga (LIPIST). Untuk membutuhkan informasi, penulis juga dapat dihubungi melalui email: adityadescaraputra@yahoo.co.id